



Banque Régionale de l'Aquifère Rhénan

Programme 2003-2006

Rapport final

BRGM/RP-54876-FR
septembre 2006

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 2003 EAU A14

C. Birtler
avec la collaboration de P. Elsass

Vérificateur :

Nom : F. MENILLET

Date : 08/09/2006

Original signé par F. Ménillet

Approbateur :

Nom : P. ELSASS

Date : 28/09/2006

Original signé par P. Elsass

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.



Mots clés : cartographie, alluvions, formations superficielles, Bas-Rhin

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Birtler C., Elsass P. (2006) - Banque Régionale de l'Aquifère Rhénan – Programme 2003-2006.
Rapport final, Rapport BRGM/RP-54876-FR, 104 p., 46 fig., 4 ann.

© BRGM, 2006, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Le programme 2003-2006 de la Banque Régionale de l'Aquifère Rhénan (BRAR), cofinancée par la Région Alsace et le BRGM, s'inscrit dans la continuité de ce programme pluriannuel, et a été principalement consacré à la poursuite du projet de cartographie des formations superficielles de la plaine rhénane. Ce projet entrepris en 2000 a pour objectif une représentation cartographique à l'échelle de 1/25 000 de la couverture de l'aquifère de la nappe d'Alsace.

Le présent rapport rend compte des travaux de cartographie réalisés sur les zones «Strasbourg» et «Nord Alsace», à savoir le Nord de la plaine d'Alsace de Sélestat à Lauterbourg. Les travaux réalisés en deux ans se sont appuyés sur les cartes existantes, géologiques (BRGM), agricoles (DDAF), topographiques (IGN), pédologiques (Guides des sols publiés par la Région Alsace) et diverses publications, notamment de l'Institut de Géographie de Strasbourg.

Les nombreuses sorties de terrain au cours des périodes favorables à la cartographie des formations superficielles ont permis de récolter 330 sondages à la tarière à main et dix sondages à la moto tarière sur l'ensemble de la zone d'étude couvrant plus de 1400 km².

Les formations superficielles les plus représentées sont les alluvions rhénanes et vosgiennes (limons, sables, graviers), les loess des terrasses (plusieurs séquences d'âge et de propriétés différents), les tourbes des zones humides ou "Rieds". Les phénomènes pédogénétiques et hydromorphiques complexes affectant les formations sont passés en revue.

Le livrable de la cartographie est une carte numérique multicouche réalisée à l'aide du logiciel MapInfo®. La carte comprend trois couches numériques : remblais, couverture de l'aquifère et aquifère lui-même, renseignées par divers attributs.

Le rapport présente et commente la restitution cartographique des cartes suivant le découpage des petites régions naturelles des Guides des sols publiés par la Région Alsace : le "Ried nord" et la bordure est de la région "Outre Forêt et forêt de Haguenau"), la partie Est de la région "Kochersberg et collines de Brumath", la région naturelle "plaine d'Erstein à Obernai", et la région naturelle "plaine centre Alsace".

Des nouveautés géologiques et hydrogéologiques mises en évidence au cours des travaux de la BRAR sont également présentées : la basse terrasse de Mothern entre Seltz et Lauterbourg, le graben de Pfulgiesheim à l'Ouest de Strasbourg, la nappe perchée de la terrasse de Bischofsheim à Obernai.

L'aquifère principal de la plaine d'Alsace est maintenant entièrement couvert par la cartographie. Il resterait à cartographier les zones de bordure telles que le Sundgau et la terrasse pliocène de Haguenau-Riedseltz, ainsi qu'à améliorer le raccord des formations avec le piémont des collines sous-vosgiennes.

Sommaire

1. Contexte.....	10
2. Cadre géologique et géographique	13
2.1. GENERALITES	13
2.2. LES REGIONS NATURELLES.....	17
3. Méthodologie.....	17
3.1. DOCUMENTS EXISTANTS.....	18
3.2. DEFINITIONS.....	19
3.3. CRITÈRES DE RECONNAISSANCE	22
3.4. ORGANISATION DU TEMPS DE TRAVAIL	27
4. La cartographie	29
4.1. INVENTAIRE DES FORMATIONS RENCONTREES	29
4.1.1. Loess.....	29
4.1.2. Alluvions (Rhin -Vosges)	31
4.1.3. « Tourbe » (sédiments organiques).....	36
4.2. ALTERATIONS	38
4.2.1. Pédogenèse et paléosols	38
4.2.2. Hydromorphie (gley et pseudo gley).....	38
4.3. RESTITUTION CARTOGRAPHIQUE.....	41
4.3.1. Légende adoptée	41
4.3.2. Le Ried nord.....	41
La petite région naturelle	41
La basse terrasse de Mothern	43
4.3.3. La région "Kochersberg et collines de Brumath".....	45
La petite région naturelle	45
Le Graben de Pfulgiesheim	48

4.3.4. La région "plaine d'Erstein à Obernai"	54
La petite région naturelle	54
Le horst de Griesheim	54
La terrasse de Bischoffsheim et la nappe perchée d'Obernai	54
Le Ried ou Bruch de l'Andlau	56
La vallée de la Basse Bruche	58
La terrasse d'Erstein.....	59
La terrasse de Valff	59
4.3.5. La région "Plaine centre Alsace"	59
5. Mise en forme numérique.....	63
5.1. FORMATS ET OUTILS SIG	63
5.2. CARTES VECTEURS	64
5.3. ATTRIBUTS DES COUCHES SIG	69
5.4. PRECISION	71
6. Perspectives de la carte numérique.	73
6.1. AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET GEOTECHNIQUE.....	73
6.2. HYDROGEOLOGIE	76
6.2.1. Aquifère	76
6.2.2. Protection de l'aquifère	78
6.3. AGRICULTURE ET GESTION DE L'ENVIRONNEMENT.....	79
6.4. EXPLOITATION DE MATERIAUX.....	80
7. Conclusions	83
8. Bibliographie.....	85

Liste des illustrations

Illustration 1: Localisation de la zone d'étude au sein de la plaine rhénane.....	10
Illustration 2: Le Fossé rhénan et son remplissage alluvionnaire.....	12
Illustration 3 : Carte morphologique de la plaine du Rhin.....	14
Illustration 4 : Découpage en régions naturelles du secteur d'étude.....	16
Illustration 5 : Exemple d'utilisation de photo aérienne Vue Nord - Ouest de Kilstett.....	19
Illustration 6: Tableau des différentes formations superficielles.....	21
Illustration 7 : Exemples de sondages à la tarière à main et à la moto-tarière.....	24
Illustration 8 : Indication sur la nature de la roche sous-jacente en fonction de la couleur de la terre.....	25
Illustration 9 : Mise en évidence de la présence de calcaire à l'aide de l'acide chlorhydrique.....	26
Illustration 10: Localisation des loess dans la zone d'étude (d'après Ménillet, 1995).....	28
Illustration 11 : Löss-lehm et loess de la colline de Blaesheim.....	30
Illustration 12 : Exemple de poupées.....	30
Illustration 13: Carte d'extension des alluvions dans la plaine d'Alsace d'après Ménillet (1995).....	32
Illustration 14: Alluvions rhénanes présentant des stratifications obliques.....	34
Illustration 15: Alluvions de la Bruche (carrière de Griesheim-sous-Molsheim).....	36
Illustration 16: Tourbe peu évoluée du Bruch de l'Andlau et sol tourbeux.....	38
Illustration 17 : Gley.....	39
Illustration 18 : Légende adoptée pour la restitution cartographique.....	40
Illustration 19 : Le "Ried nord" et la région "Outre-Forêt et forêt de Haguenau".....	42
Illustration 20 : Piézométrie basses eaux de l'extrême Nord de la plaine d'Alsace.....	44
Illustration 21 : Coupe W-E des terrasses au niveau de Berg (Palatinat).....	45
Illustration 22 : La région "Kochersberg et collines de Brumath".....	47
Illustration 23: Le Grand Hamster (<i>Cricetus cricetus</i>), autrefois appelé "Marmotte de Strasbourg" ou "Kornfarel" (petit cochon des blés), fait partie intégrante du patrimoine faunistique alsacien comme la cignogne (photos G. Baumgart).....	48
Illustration 24 : Les terrasses loessiques de l'Ouest de Strasbourg.....	49
Illustration 25 : Ecorché du Graben de Pfulgiesheim sans les loess anciens.....	50
Illustration 26 : Ecorché du Graben de Pfulgiesheim sans les loess récents.....	51
Illustration 27 : Coupe schématique NW-SE du Graben de Pfulgiesheim (Frey, 2006).....	52

Illustration 28 : Carte morphologique de la région "Plaine d'Erstein à Obernai"	53
Illustration 29 : Coupe géologique Ouest-Est au niveau de la brasserie Kronenbourg entre Bischoffsheim et Obernai.	55
Illustration 30 : Carte piézométrique en basses eaux de la terrasse de Bischoffsheim.....	56
Illustration 31: Courlis cendré (photo LPO Alsace).	58
Illustration 32 : Carte morphologique de la région "Plaine Centre Alsace"	60
Illustration 33 : Organisation d'un SIG.....	64
Illustration 34 : Modèle multicouche.....	65
Illustration 35 : Décharge sur la commune de Pfulgiesheim. Elle a été cartographiée grâce au levé de terrain.....	66
Illustration 36 : Observation des couches Couverture et de Substrat sur une falaise au Nord de Mothern.....	68
Illustration 37 : Exemple de sondage	70
Illustration 38 : Activités humaines et les formations superficielles.	73
Illustration 39 : Falaise de lœss, on peut noter la présence de terriers où nichent certains oiseaux tels que les hirondelles (Wintzenbach, 67).	74
Illustration 40 : Ecaillage d'une falaise de lœss, au droit de l'un des bâtiments du lotissement « le Bel Arbor » à Achenheim (67) en 2003.....	75
Illustration 41 : Exemple de protection d'une falaise de lœss sur un chantier à Mothern (67).	75
Illustration 42 : Exemple de caves creusées dans le lœss avec éboulement de lœss en premier plan (remontée de vide) à Pfastatt (68).	76
Illustration 43 : Culture de choux sur du lœss à Krautergersheim	80
Illustration 44 : Culture d'asperges sur du sable à Hœrdt.....	80
Illustration 45 : Gravière en exploitation (alluvions rhénanes)	81
Illustration 46 : Renaturation d'une gravière après exploitation pour rendre à la nature ce qui est à la nature.	82

Liste des annexes

Annexe 1 Carte des formations superficielles de la petite région naturelle Ried nord	89
Annexe 2 Carte des formations superficielles de la petite région naturelle Kochersberg – Collines de Brumath	93
Annexe 3 Carte des formations superficielles de la petite région naturelle Plaine d'Erstein à Obernai.....	97
Annexe 4 Carte des formations superficielles de la petite région naturelle Plaine centre Alsace.....	101

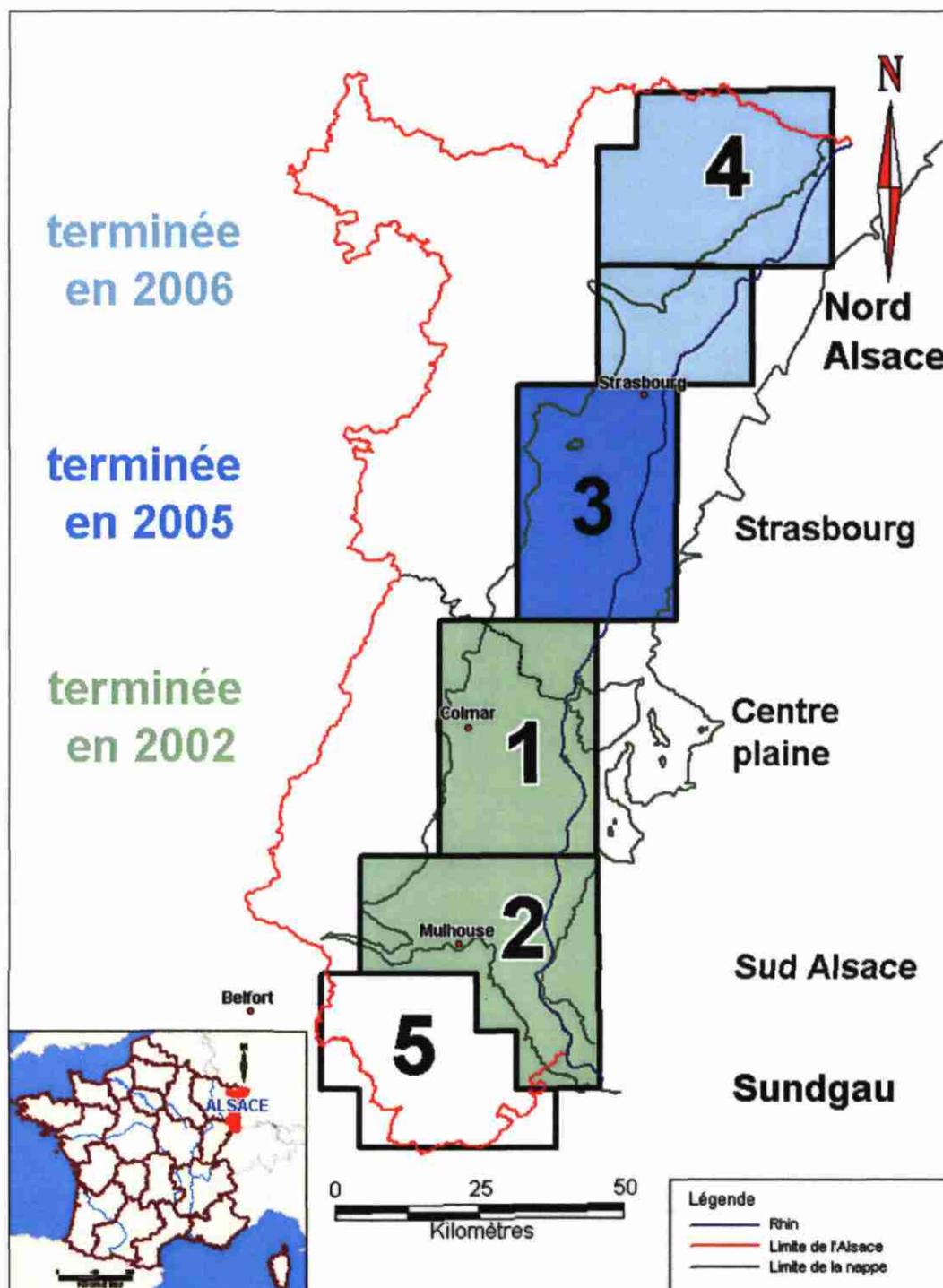


Illustration 1: Localisation de la zone d'étude au sein de la plaine rhénane.

1. Contexte

Le programme 2003-2006 de la Banque Régionale de l'Aquifère Rhénan (BRAR), cofinancée à parts égales par la Région Alsace (dans le cadre du Contrat de nappes d'Alsace, avec la participation de l'Agence de l'eau Rhin-Meuse) et par le BRGM sur sa dotation de service public, s'inscrit dans la continuité de ce programme pluriannuel, et a été principalement consacré à la poursuite du projet de cartographie des formations superficielles de la plaine rhénane. Ce projet entrepris en 2000 a pour objectif une représentation cartographique à l'échelle de 1/25 000 de la couverture de l'aquifère de la nappe d'Alsace.

Cette représentation cartographique numérique est réalisée sous forme de Système d'Information Géographique (SIG) et est organisée en trois couches superposables :

- Couche 0 : Remblais (dépôts anthropiques),
- Couche 1 : Couverture de l'aquifère rhénan (formations superficielles peu perméables protectrices vis à vis des pollutions potentielles),
- Couche 2 : Substrat représentant la zone non saturée de l'aquifère alluvial (alluvions rhénanes, alluvions de l'Ill et des rivières vosgiennes) ;

Le programme entamé en 2000 prévoyait un découpage de la plaine d'Alsace en cinq zones de travail (Illustration 1), les zones de bordure de l'aquifère devant faire l'objet d'études particulières :

- La zone « Centre Plaine » cartographiée en 2001 (Quesnel et Lacquement, 2002),
- La zone « Sud Alsace » cartographiée en 2002 (Quesnel et Lacquement, 2002),
- La zone « Strasbourg » cartographiée en 2005,
- La zone « Nord Alsace » cartographiée en 2006,
- La zone « Sundgau » qui reste à faire.

Le présent rapport rend compte des travaux de cartographie réalisés sur les zones «Strasbourg» et «Nord Alsace». Il comprend la restitution cartographique des cartes suivant le découpage des petites régions naturelles des Guides des sols publiés par la Région Alsace (Annexes 1 à 4).

Après un rappel sur le cadre géographique et géologique de l'étude et sur les méthodes d'observation des formations dites superficielles, les unités cartographiées et leurs relations au sein des régions naturelles d'Alsace font l'objet d'une description spécifique. Les cartes résultantes sont décrites par petite région naturelle. La démarche de mise sous forme de SIG de la carte est présentée puis le rapport se conclut sur les perspectives d'utilisation des cartes de formations superficielles appliquées à l'Alsace.

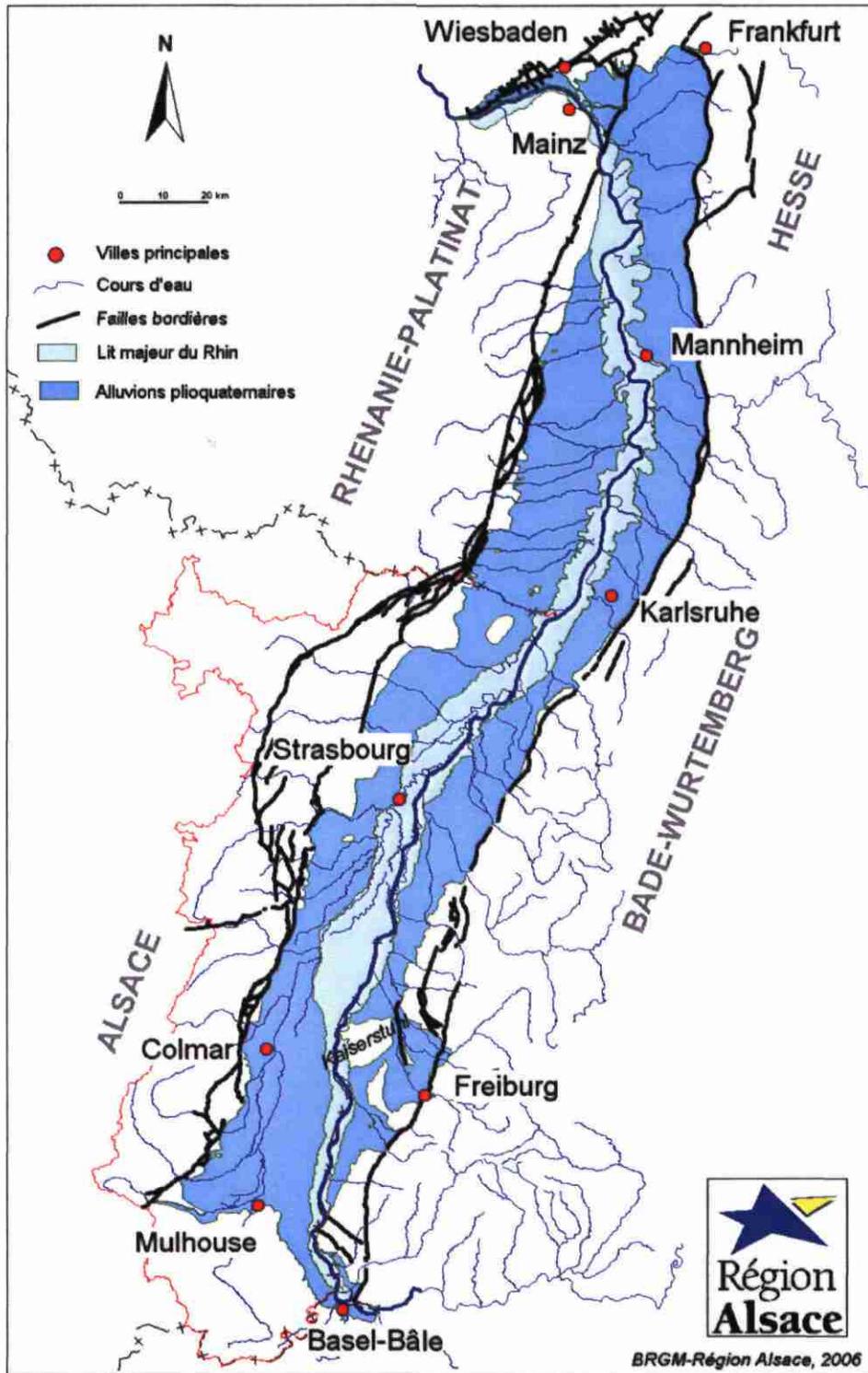


Illustration 2: Le Fossé rhénan et son remplissage alluvionnaire

2. Cadre géologique et géographique

2.1. GENERALITES

La plaine d'Alsace, qui s'étend sur environ 160 km de longueur et atteint en amont de Strasbourg une vingtaine de kilomètres de largeur, correspond à la partie française de la plaine rhénane qui occupe le bassin d'effondrement du Fossé rhénan (Illustration 2).

Le Fossé rhénan constitue le segment central du système de rifts cénozoïques européens qui s'étendent de la Mer du Nord à la Méditerranée. Il se présente sous la forme d'une plaine de 35 km de large et de 300 km de long entre Bâle au Sud et Mayence (Mainz) au Nord. Il est bordé à l'Est par la Forêt Noire et à l'Ouest par les Vosges. Au Sud, il est relayé par le Fossé bressan par l'intermédiaire du système transformant Rhin-Saône (Bergerat, 1987). Le Fossé rhénan sert de modèle de référence aux fossés d'effondrements continentaux (rifts avortés).

Précédé par un épisode distensif avec quelques émissions basaltiques au Crétacé supérieur, l'effondrement s'est produit au cours de deux phases distinctes, fin Éocène – début Oligocène (39-36 Ma), sous régime tectonique extensif lié à la collision Afrique - Europe, et Oligocène – Miocène (25-20 Ma) avec un champ de contraintes proche de l'actuel (Villemin et Bergerat, 1987).

Tout au long du Quaternaire, le Rhin et ses affluents ont accumulé leurs alluvions sur de grandes épaisseurs dans la plaine d'Alsace (moins de 25 m près de Bâle, 250 m près de Neuf-Brisach dans la fosse dite de Geiswasser, 80 m à Strasbourg). La Plaine d'Alsace a donc fonctionné comme un piège à sédiments, avec une subsidence tectonique active comme le montrent les variations d'épaisseur des dépôts.

La subsidence irrégulière du fossé ou le relèvement des Vosges et de la Forêt Noire ainsi que l'alternance d'époques froides et tempérées plus ou moins humides (glaciaires et interglaciaires) sont à l'origine de périodes de creusement et d'alluvionnement successives, avec des contributions variables d'alluvions par le Rhin et par ses affluents apportant des matériaux des massifs montagneux des Vosges et de la Forêt-noire.

Les alluvions rhénanes proviennent essentiellement des Alpes mais également du Jura et forment le réservoir aquifère principal. Les alluvions vosgiennes sont plus développées dans le Nord de l'Alsace où elles proviennent de l'érosion des Vosges gréseuses. Les terrasses fluviales sont généralement couvertes de loess plus ou moins épais déposés par les vents lors des périodes froides du Quaternaire.

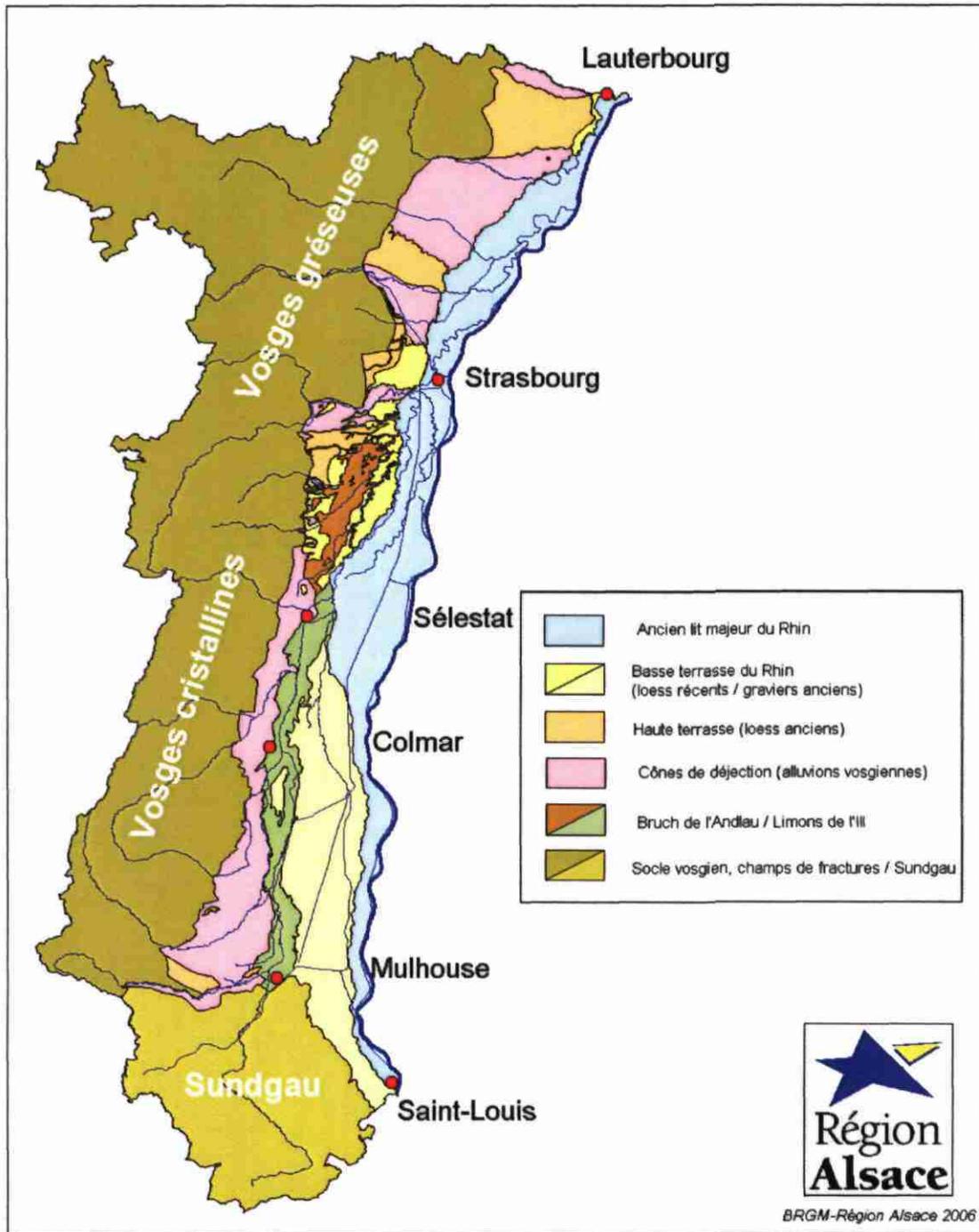


Illustration 3 : Carte morphologique de la plaine du Rhin

La plus grande partie de ces dépôts et les plus grossiers d'entre eux datent des périodes froides dont les caractéristiques ont permis l'élaboration d'un matériel de faciès périglaciaire ou fluvioglaciaire. Les périodes tempérées sont marquées essentiellement par l'altération des formations déposées lors des périodes froides qui les précèdent et par des dépôts d'inondation plus fins.

Comme on le voit, la constitution des alluvions de la plaine d'Alsace résulte d'une histoire quaternaire extrêmement complexe au cours de laquelle phases tectoniques et climatiques ont constamment interagi et interféré. Du fait de la difficulté d'obtenir des datations précises dans le Quaternaire (au-delà des 50 000 ans qui marquent la limite d'utilisation du Carbone 14), cette histoire n'est toujours pas entièrement comprise, et fait l'objet de travaux de recherche menés par les services géologiques et les universités du Fossé rhénan, de Bâle à Mayence, visant à dater et corrélérer les principaux épisodes d'alluvionnement et d'érosion.

En attendant des éléments plus précis, plusieurs domaines peuvent être distingués classiquement dans la plaine rhénane par leur morphologie (Illustration 3) :

- Les hautes terrasses qui représentent les morphologies les plus anciennes et sont couvertes d'un manteau de dépôts loessiques d'âges divers ; le Sundgau peut être considéré comme une haute terrasse particulière ;
- Les basses terrasses sont recouvertes de loess récents dans le Nord de l'Alsace et caillouteuses au Sud (Hardt) ; elles se raccordent plus ou moins aux cônes alluviaux des rivières vosgiennes qui ont déblayé la couverture loessique ;
- La basse plaine alluviale correspond au lit d'inondation du Rhin (lit majeur) avant la correction de son cours (1838-1876) ; sa limite avec les basses terrasses est souvent marquée par une nette incision ;
- Plusieurs zones dépressionnaires ont canalisé les épandages holocènes de l'Ill et de l'Andlau ; elles sont le lieu privilégié, avec les bordures de terrasses, du développement des zones humides telles que les rieds.

La nappe phréatique alsacienne fait partie du grand aquifère rhénan formé par les alluvions quaternaires et pliocènes, connu comme un des plus grands d'Europe. Elle est alimentée par les rivières vosgiennes et préjurassiennes, par les rivières du Sundgau et par le biais des pertes de l'Ill en amont de Colmar, et sur une bande riveraine de quelques kilomètres par le Rhin.

Le renouvellement de la nappe est assuré pour environ 60 % par l'apport des cours d'eau, pour 20 % par l'infiltration des précipitations et pour les 20 % restants par l'amont de la nappe et les infiltrations des piémonts vosgiens. La faible épaisseur de la couverture de l'aquifère rend la nappe très vulnérable aux pollutions superficielles.

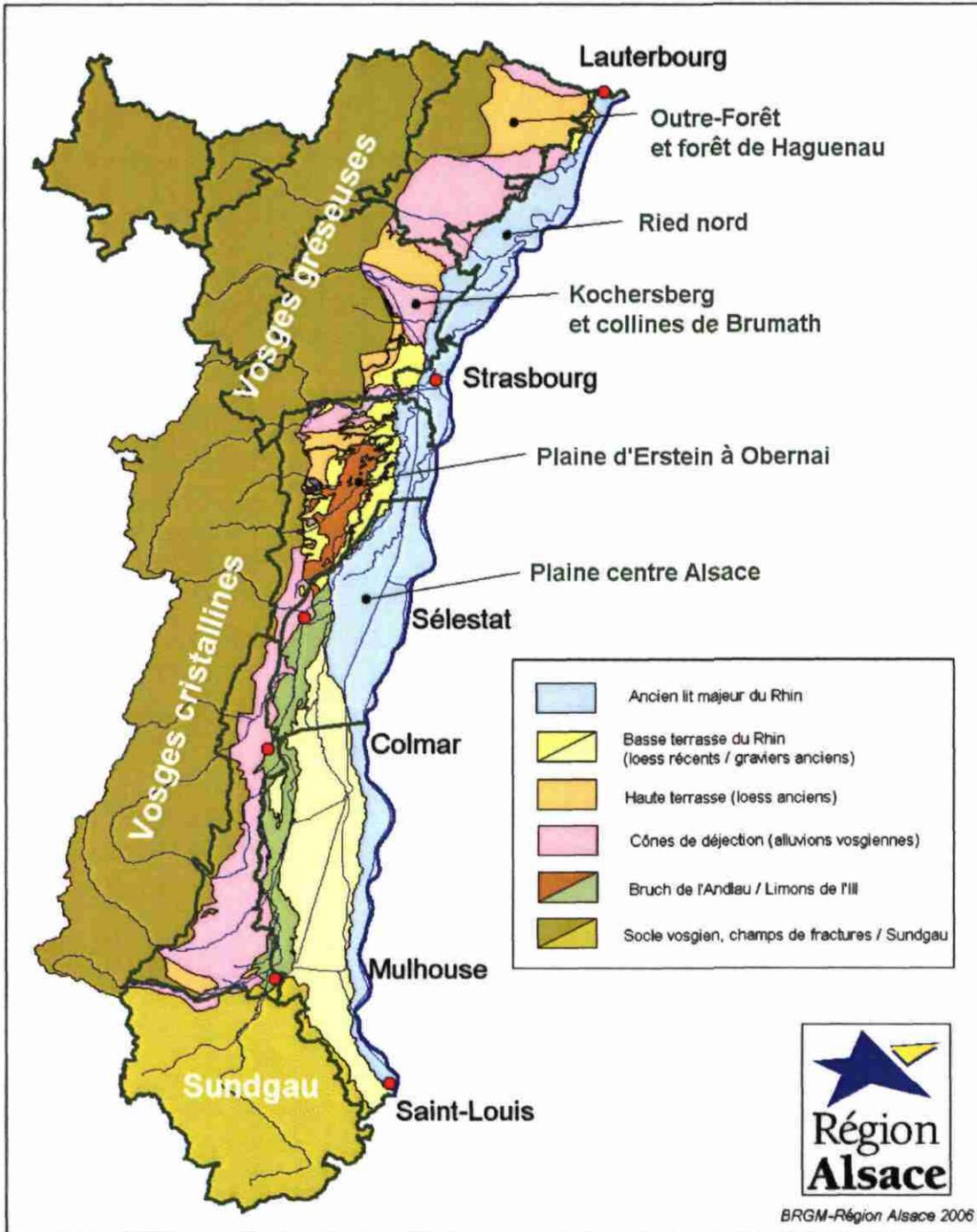


Illustration 4 : Découpage en régions naturelles du secteur d'étude.

2.2. LES REGIONS NATURELLES

Le secteur cartographié dans la présente étude correspond à la partie centrale et Nord de la plaine d'Alsace. Il est compris entre les collines sous-vosgiennes (Ouest) et le Rhin (Est) d'une part, et la frontière allemande (Nord) et la ville de Sélestat (Sud) d'autre part. La surface totale représente environ 1408 km².

Cette zone d'étude est comprise dans l'aire d'extension de la nappe alluviale du Rhin et de ses affluents. Les sols sont constitués pour la quasi-totalité d'entre eux à partir de matériaux alluviaux déposés par le Rhin et ses affluents et de matériaux éoliens de type loess déposés durant les périodes froides successives du Quaternaire. Le choix de l'échelle cartographique (1/25 000) a permis de bien présenter la diversité de ces formations.

Le relief dans la plaine est de très faible amplitude, la partie étudiée étant généralement comprise entre 109 m et 185 m d'altitude le long du Rhin (de Lauterbourg à Marckolsheim) alors que les collines sous-vosgiennes ont une altitude d'environ 500 m.

Le découpage en petites régions naturelles des Guides des sols d'Alsace publiés par la Région Alsace a été retenu à la place du découpage originel du projet pour une meilleure compréhension et une meilleure corrélation entre les cartographies. De fait ce découpage est très bien adapté à la présentation des formations superficielles dont la variété est intimement liée à la morphologie.

Ainsi les régions naturelles concernées dans ce rapport sont du Nord au Sud, (Illustration 4) :

- Le "Ried nord" (et la bordure est de la région "Outre Forêt et forêt de Haguenau"),
- La partie Est de la région "Kochersberg et colline de Brumath",
- La région naturelle "plaine d'Erstein à Obernai",
- La région naturelle "plaine centre Alsace".

3. Méthodologie

3.1. DOCUMENTS EXISTANTS

Les études bibliographiques permettent de préparer au mieux les zones de travail et les campagnes de sondages avant toute sortie sur le terrain.

Les informations disponibles sont :

- Les publications, notamment de l'Institut de Géographie de Strasbourg ;
- Les cartes, géologiques (BRGM), agricoles (DDAF), topographiques (IGN), pédologiques (Guides des sols publiés par la Région Alsace). Les documents cartographiques anciens (cartes topographiques ou plans) renseignent sur l'évolution des sites dans le temps (apparition, modification, disparition) et dans l'espace (extension maximale) ;
- Les photos aériennes réalisées à différentes époques échelonnées dans le temps disponibles auprès de l'Institut Géographique National (IGN) (Illustration 5). Elles sont plus précises que les documents cartographiques, mais bien souvent elles ont été prises en été, période qui n'est pas la plus favorable pour l'étude des formations superficielles. Elles permettent de délimiter des surfaces différentes par leurs facteurs de formation et leurs propriétés. Il n'est toutefois pas possible d'en tirer des informations qualitatives sûres comme la granulométrie, l'hydrologie, la chimie du sol ou encore la détermination du type de sol. Pour cela, il est indispensable de prélever des échantillons sur le terrain ;
- Les coupes lithologiques de sondages (Banque de données du Sous-Sol du BRGM).

Limitrophes de la zone d'étude, les cartes à 1/25 000 des formations superficielles de Gamsheim, Plobsheim et Rhinau (Clément, 1997), et la carte géologique transfrontalière Strasbourg–Kehl (Ménillet, Feldhoff, Fleck, 2002) ont été utilisées et revues. Les dénominations des formations ont été reprises de cette dernière carte éditée par le Service géologique du Bade-Wurtemberg afin d'harmoniser les cartes entre elles.

La compilation des données est réalisée en même temps que les levés de terrain et les résultats sont reportés sur une carte topographique à l'échelle 1/25 000. Les cartes réalisées sont présentées en annexe.

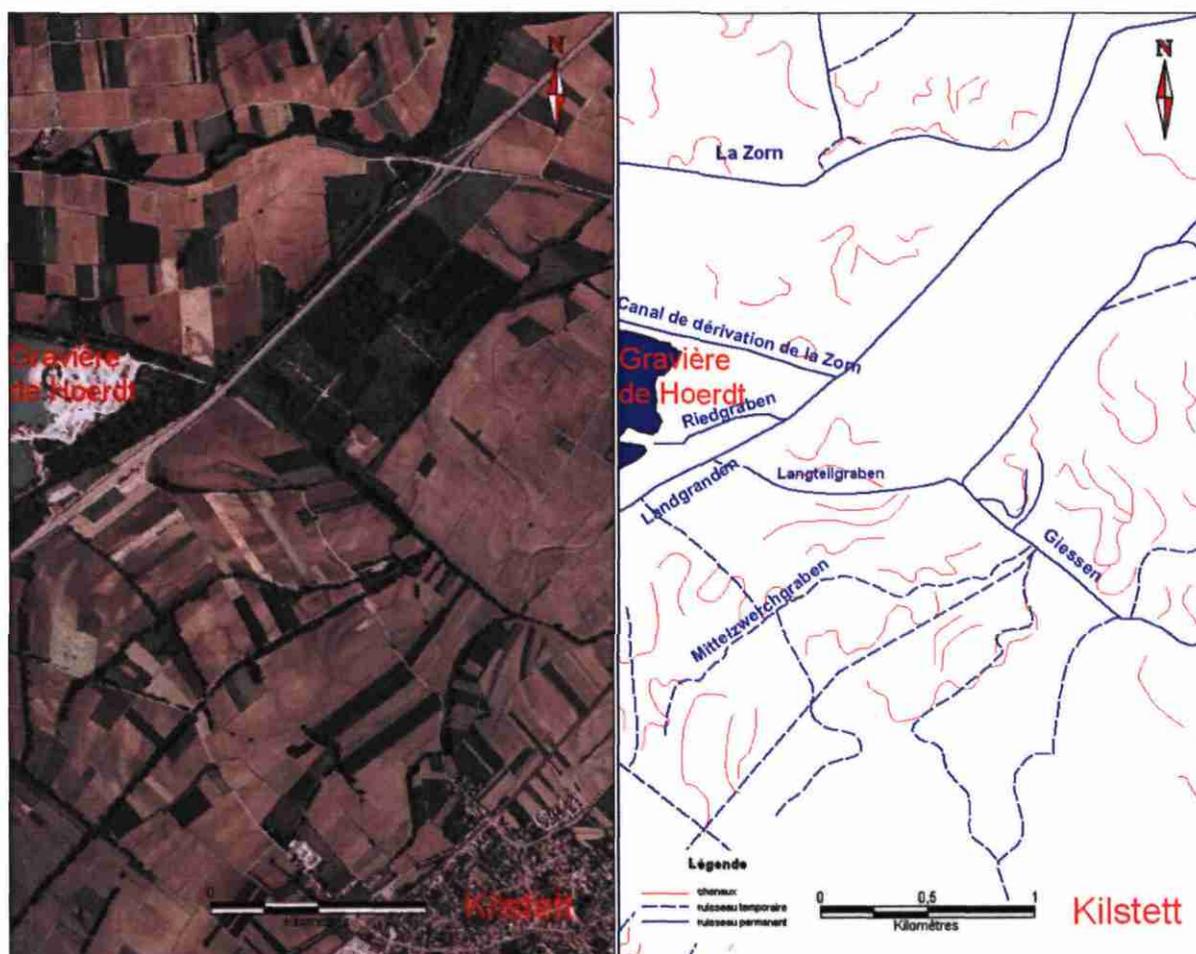


Illustration 5 : Exemple d'utilisation de photo aérienne Vue Nord - Ouest de Kilstett.
La prise de vue aérienne date du mois de juin 2002. On y voit les chenaux de directions Nord-
Est Sud-Ouest. La végétation y est mieux développée.

3.2. DEFINITIONS

Les "formations superficielles", ainsi appelées par les géologues et les géomorphologues, sont en fait les composantes de la géosphère : elles sont constituées par des matériaux qui proviennent de la transformation physique de la roche en place (fragmentation, altération...) ou qui résultent d'un transport et d'une longue évolution physico-chimique (anciens dépôts éoliens, cuirassement ferrugineux...). La distribution de ces composantes dans l'espace est étroitement liée aux formes du relief. Ce sont d'ailleurs le plus souvent ces deux facteurs qui expliquent, ensemble, la différenciation globale des paysages.

Dans la littérature, le concept de formations superficielles est encore une notion relativement floue, chaque auteur proposant sa propre définition. Mais depuis quelques

années le glossaire de géomorphologie de F. Joly (1997) tend à s'imposer. Nous nous sommes partiellement fondés sur cet ouvrage pour notre étude.

Les formations superficielles sont assimilables à des sols au sens pédologique du terme mais peuvent devenir après immobilisation et fixation par le bios, des roches mères pour des sols développés secondairement à leur surface. Leur épaisseur est d'ordre décimétrique à décamétrique. Elles représentent des formations continentales meubles ou secondairement consolidées. Si elles sont le produit de l'altération chimique ou biochimique, elles forment des altérites dont la composition peut être très différente de la roche d'origine. La désagrégation mécanique de roches préexistantes produit des clastites dont la composition minéralogique et chimique est la même que celle de la roche initiale. Il y a aussi des formations anthropiques par remaniement, déplacement ou dépôt artificiel de formations naturelles (terrassement, talus, remblais, terrils, déchets).

Les formations superficielles peuvent rester en place sur leur roche mère (substratum origine) : elles sont dites autochtones. Elles peuvent aussi transiter sur un versant (substratum support) sous l'action de la gravité, du ruissellement diffus, de la solifluxion (formations subautochtones ou colluvions). Enfin, elles peuvent être déplacées, dispersées, remobilisées, remaniées par des agents dynamiques de transport : rivières (alluvions), glaciers, vents, ce sont alors des formations allochtones (Illustration 6).

Les formations superficielles peuvent être actuelles ou héritées (témoins de paléotopographies, paléodynamiques, paléoenvironnements). Elles aident à la compréhension de l'évolution du relief terrestre. Un grand intérêt doit être porté à leur épaisseur, leur situation par rapport au substrat géologique et à leur rapport avec les formes géomorphologiques. Pour être cartographiées, il faut qu'elles couvrent au moins 1 hectare sur 50 cm de profondeur.

On peut les considérer comme des descripteurs de l'évolution et de l'histoire du relief, des roches mères de sols, des supports de végétation et de construction, des matériaux exploitables pour les travaux publics et de l'industrie, des matières premières pour la production agricole ou encore comme des sites d'anciennes implantations humaines.

Fréquemment et de façon restrictive, les formations superficielles sont assimilées aux dépôts plio-quadernaires telles que les alluvions, les loess, les colluvions. En France ces dépôts ne représenteraient en volume que 10 à 20% des formations superficielles au sens large.

- **Loess ou limons des plateaux** : allochtone (vent), quartz, argile et calcaire.
- **Loess-lehm (lehm)** : allochtone (altération pédologique des loess), argile + quartz.
- **Altérite** : autochtone (isaltérite), liée à la désagrégation physique du substrat et indurée par la silice et le fer, par l'aluminium et le fer, ou par le calcium ; ou faiblement remaniée (alloaltérite).
- **Crête** : altérite indurée par des processus chimiques ou biochimiques :
 - alcrête : ciment d'aluminium ou de bauxite,
 - calcrête : ciment carbonaté, (travertins près d'une source karstique),
 - ferricrête : ciment ferrugineux,
 - silcrête : ciment siliceux.
- **Dépôts de versant** : processus périglaciaires (gélifraction et gélifluxion), sub-autochtone, comprenant entre autres :
 - Eboulis : déplacés sous l'action de la gravité, blocs et matrice sablo-argileuse ou limoneuse, éléments plongeants (parallèles à la pente),
 - Formations de solifluxion, dont les grèzes à éléments anguleux issus de roches calcaires, parfois litées.
- **Colluvions** : bas de versants, fins, transportés par ruissellement diffus, sub-autochtone.
- **Nappe colluviale** : nappe de versant qui inclut les dépôts de versants + éboulis.
- **Moraines (tills)** : dépôts glaciaires à blocs de transport par les glaciers : dans les Vosges matrices sableuses à limoneuses avec tri, peu d'argile ; formation de crêtes morainiques.
- **Dépôts fluvio-glaciaires** : transport successif par les glaciers puis par les eaux fluviales. Allochtone, émoussé.
- **Cônes de déjection** : accumulation d'origine torrentielle en éventail élargi à la base.
- **Dépôts fluviatiles** : structure sédimentaire, émoussé caractéristique. Éléments perpendiculaires à la pente.
- **Dépôts lacustres** : continentaux, dans les lacs et étangs : craie = précipitation de carbonate, tourbe : accumulation de matière organique => lignite.
- **Dépôts palustres** : dans les étangs et marais.
- **Dépôts littoraux** : récemment exondés, vases, dépôts estuariens (argiles, limons, sables, cordons de galets), coquillages...
- **Dépôts éoliens** :
 - Sables éoliens : fins ou moyens => dunes,
 - Limons : massifs, meubles de 2 μ à 50 μ , pseudo-limons si > 50 μ ,
 - Projections volcaniques : cendres, lapillis, lahars.
- **Déblais anthropiques**
- **Épandages complexes** : combinaisons de formations superficielles indifférenciées.

Illustration 6: Tableau des différentes formations superficielles.

3.3. CRITÈRES DE RECONNAISSANCE

Avant de commencer une campagne de terrain, il est important de raisonner par rapport aux formes du relief sur la base de la carte topographique, des photos aériennes, et du MNT (modèle numérique de terrain). La première étape consiste à décomposer le paysage en unités qui peuvent sembler homogènes puis on procède à des sondages afin de vérifier l'homogénéité des surfaces délimitées. Il y a certains lieux à éviter, comme la proximité d'une construction, les carrières rebouchées ou dès que l'on voit des accumulations de dépôts d'origine anthropique. De plus, il convient de toujours s'éloigner des bords de chemins et de routes de quelques mètres (empiètements). Il faut aussi faire attention aux haies et chemins sur le côté amont des versants car on est alors sûr que le profil sera perturbé.

Le choix de l'emplacement des observations est très important quant à la possibilité de les généraliser par la suite. L'observation peut être effectuée de deux façons :

- Soit géomorphologiquement (homogénéité de surface, occupation du sol, relief...),
- Soit d'après la recherche de limites de formations.

Il est important d'accorder un numéro à chaque tarière effectuée, de mentionner la date et la météo du jour et des semaines précédentes. En effet, certains facteurs, comme la couleur ou l'humidité, peuvent être influencés par l'hygrométrie. La localisation peut se faire par points GPS, mais il faut également se localiser sur une carte topographique.

L'observation et la reconnaissance des formations sont réalisées à la tarière par excavation de petits volumes de sol et de façon discontinue, en un certain nombre de sites.

Dans un premier temps :

- On observe à l'œil, la forme, la nature et l'abondance de pierres, la présence ou non de sable, sa couleur, etc.
- On étudie au toucher la composition de la terre de surface en sables, limons, argiles. Ainsi on apprécie la granulométrie de la formation,
- On interprète l'origine des alluvions : cette reconnaissance pétrographique permet de faire la distinction entre les matériaux d'origine vosgienne et alpine.

Ensuite, vient l'analyse plus approfondie du sol en faisant appel :

- A l'acide chlorhydrique dilué à 10% pour connaître la nature carbonatée ou non des sols, ce qui permet d'estimer le chimisme de la roche (Si-Ca),
- A la tarière à main (Illustration 7) pour obtenir en surface un échantillonnage du sous-sol sur une profondeur maximale de 2 mètres (profondeur manuellement difficile à atteindre). Les terrains traversés se différencient par la couleur, la texture et la présence de taches rouille, grises ou noires en cas d'excès d'eau (hydromorphie),

- A la moto tarière (Illustration 7) pour les sols trop durs à forer à la main pour atteindre l'aquifère et connaître l'épaisseur des couches.

Néanmoins, la tarière à main permet d'observer le sol à moindre coût et de multiplier les sites d'observation pour mieux appréhender la variabilité spatiale. Pour cela il faut prélever la première carotte de façon complète (20 cm), puis progresser de 15 cm en 15 cm pour éviter le tassement excessif des échantillons et supprimer la partie supérieure de la carotte correspondant à du matériau remanié. On dispose les prélèvements les uns à côté des autres pour reconstituer progressivement l'ensemble du sondage, ceci permet une description plus précise, une vue d'ensemble des variations des formations et surtout permet de prendre une photo (Illustration 7). Les sondages donnent une bonne information sur la succession des horizons avec une précision de 1 à 2 centimètres. Les successions verticales sont respectées mais se trouvent déformées et mélangées horizontalement. Une autre limitation à l'utilisation de la tarière est l'abondance d'éléments grossiers qui nous a souvent forcé à recommencer le sondage.

L'observation d'un sol à la tarière présente des inconvénients :

- Seule une faible section du sol est prélevée, ce qui empêche de voir les variations latérales ;
- La tarière produit un certain mélange des horizons ;
- La structure et les traits pédologiques sont très difficiles à observer ;
- La présence de cailloux ou d'horizons très secs peut bloquer la tarière.

Il convient aussi de respecter les consignes suivantes dans l'utilisation de la tarière :

- Toujours nettoyer la surface du sol avant de creuser pour que des matériaux ne tombent pas dans le trou lors du creusement,
- Ne jamais descendre de plus de 20 cm à la fois et 15 dans les terrains argileux,
- Bien tirer dans l'axe du trou. Toujours tourner la tarière de gauche à droite afin de ne pas perdre le bout de la carotte,
- Nettoyer la carotte avant de la sortir et retirer les 2 cm supérieurs au minimum,
- Vider la carotte et reconstituer le sol,
- Sauvegarder son dos le plus possible en pliant les jambes !

La profondeur est toujours mesurée depuis la surface du terrain. Par les observations répétées de différents sondages, on arrive progressivement à identifier des horizons de référence dont on va observer les variations de profondeur sur plusieurs transects.



Illustration 7 : Exemples de sondages à la tarière à main et à la moto-tarière.

L'état d'humidité est une appréciation subjective fondée sur les sensations tactiles de chacun. Néanmoins un échantillon est dit sec quand il n'y a pas d'humidité décelable, humide lorsque il est malléable mais qu'il n'y a pas d'eau libre et noyé quand il y a présence d'eau libre saturant tout ou partie de la porosité. Il est très important de bien décrire l'état d'humidité car il conditionne d'autres propriétés comme la couleur, la texture et surtout les propriétés mécaniques de l'horizon.

La couleur est déterminée à l'oeil ou mieux à l'aide de la charte de terrain de Munsell. Comme la couleur des sols change en fonction de leur état d'humidité, il faut la décrire aux états sec et humide ou systématiquement à l'état humide, si besoin en réhumectant l'échantillon. Les variations de couleur au sein des sols peuvent être graduelles ou progressives que ce soit verticalement ou latéralement. Dans certains cas, écraser un peu de sol humidifié sur la fiche de terrain peut être utile. La couleur nous donne de précieux renseignements sur la composition de l'échantillon (Illustration 8).

Couleur de la terre	Tendance
Jaune à brun-jaune	Calcaire
Jaune - ocre	Calcaire riche en fer
Jaune - beige	Argiles calcaires (marnes)
Brun	Matière organique
Brun - noir	Proportion élevée de matière organique
Noir	Matière organique pure, « tourbe », aussi altération des marnes irisées du Keuper dans les collines sous-vosgiennes
Rouge	Oxyde de fer
taches rouille	Fer oxydé en général par assèchement
Gris - vert	Fer réduit en général par hydromorphie
Gris - blanc	Lessivage important (appauvrissement en éléments et en argiles)
Violet - noir	Présence de manganèse

Illustration 8 : Indication sur la nature de la roche sous-jacente en fonction de la couleur de la terre.

Pour estimer la couleur on utilise de la terre fine. Si l'on observe la couleur directement sur une coupe on ne peut en juger qu'en ayant le soleil dans le dos. Il faut aussi faire attention à la végétation environnante qui peut grandement biaiser notre perception chromatique.

La réaction à l'acide permet de mettre en évidence la présence de calcaire dans la terre fine ou dans la fraction des éléments grossiers (Illustration 9). Ce test aide donc à déterminer la nature des éléments grossiers, la présence ou l'absence de calcaire dans la terre fine et donne une estimation de son abondance et de sa localisation. De l'acide chlorhydrique à 10% a été employé. Une subdivision des réactions en 5 parties permet une bonne estimation de la teneur en carbonates :

- effervescence nulle, teneur inférieure à 1%
- effervescence audible mais non visible, teneur de 1-3%
- effervescence faiblement visible (quelques bulles), teneur de 1-10%

- effervescence moyenne (bulles bien visibles), teneur de 10-20%
- effervescence forte (bulles abondantes à très abondantes) teneur > 20%.

On peut aussi rechercher les traces de dolomie simplement en chauffant l'acide chlorhydrique à l'aide d'un briquet.



Illustration 9 : Mise en évidence de la présence de calcaire à l'aide de l'acide chlorhydrique.

Les éléments grossiers peuvent être porteurs de beaucoup d'informations notamment sur la contamination par des débris d'origine anthropique, les apports latéraux par colluvionnement, la signature d'une lointaine origine alluviale ou encore être le témoin de pédogenèses anciennes (d'âge tertiaire). Il faut estimer la granulométrie et l'abondance des éléments grossiers. Il est aussi important de décrire l'état d'altération et la forme (arrondi, sub-arrondi, sub-anguleux, anguleux) des éléments grossiers.

Il est également possible d'évaluer la consistance (plasticité et adhésivité) à l'aide de toute une série d'astuces de terrain.

- Il est possible de tester la plasticité en humectant un peu de terre et la roulant entre les doigts pour faire un mince boudin souple de 3 mm de Ø :
 - **Non plastique** : il n'est pas possible de former un boudin avec le pàton.
 - **Peu plastique** : un boudin peut être formé mais il se brise sous son propre poids.
 - **Plastique** : un boudin peut être formé mais se rompt sous une faible déformation.
 - **Très plastique** : le boudin ne se rompt pas ou très difficilement sous l'effet de déformations très importantes.

- Un test d'adhésivité s'effectue en pressant un échantillon suffisamment humidifié entre le pouce et l'index :
 - **Non collant** : après relâchement de la pression, pratiquement aucune matière n'adhère au pouce ou à l'index.
 - **Peu collant** : après relâchement de la pression, l'échantillon adhère aux deux doigts mais s'en détache sans laisser de traces. Ne s'étire presque pas lorsque l'on écarte les doigts.
 - **Collant** : après relâchement de la pression, la terre adhère au pouce et à l'index. Quand on écarte les doigts, elle tend à s'étirer quelque peu et à se déchirer plutôt qu'à se détacher des doigts.
 - **Très collant** : après relâchement de la pression, la terre adhère fortement aux doigts et s'étire nettement lorsqu'on les écarte.
- Il est possible d'observer le bout de la carotte en la remontant : les argiles produisent des pointes lisses et brillantes pour une carotte compacte et très moulée, les limons une pointe matte et les sables une pointe grenue.
- Enfin au contact de l'horizon et de la tarière, si l'on entend des crissements on est sûr d'avoir du sable même en faible quantité non décelable dans une masse d'argile. En effet, les argiles limoneuses et les limons purs ne produisent aucun son.

3.4. ORGANISATION DU TEMPS DE TRAVAIL

La principale difficulté du programme cartographique a été la réalisation des levés en dehors de périodes de végétation. En plaine d'Alsace, les cultures correspondent essentiellement à du blé et du maïs (80%). Or le maïs a une période de végétation entre mi-mai et mi-octobre et le blé entre avril et juillet. Durant cette période, il est très difficile de réaliser des observations de qualité dans les champs sauf dans les rares parcelles en jachère ou portant des cultures rapidement récoltées (choux, salades, pommes de terres, asperges...).

Au début de l'étude, de mars à mi-juin, les champs (encore nus), les talus et les carrières ont été visités ainsi que les chantiers de construction de lotissement autour des villages de la plaine (coupes dans les fondations ou excavations) et les travaux de voirie.

Par la suite de mi-juin à fin août, quand les cultures ont levé rendant impossible l'observation de la surface, les sous-bois et les forêts ont été parcourus à la recherche de chablis. Les chablis sont des arbres déracinés lors des tempêtes, occasionnant de belles coupes de 0,80 à 1,50 mètres de profondeur. Suite aux récoltes, les labours ont été systématiquement parcourus afin de vérifier la nature des formations affleurantes.

A travers les nombreuses sorties de terrain, nous avons pu récolter **330 sondages à la tarière à main et dix sondages à la moto tarière** sur l'ensemble de la zone d'étude.

Il faut ne pas oublier que la disposition des formations superficielles peut être aléatoire. Les dépôts sont influencés par différents aspects :

- Le réseau fluvial est très divagant, et les modifications sont visibles à l'échelle humaine,
- Ces matériaux sont récents (quaternaires) et meubles et ils sont déjà soumis à l'érosion et à l'altération physique, chimique et anthropique,
- Les limites sont d'autant plus difficiles à suivre que leurs répartitions sont très irrégulières et présentent des variations rapides de faciès et d'épaisseur,
- Parfois les alluvions ont été reprises et déposées plus loin avec d'autres.

La cartographie de l'extension des différentes formations est ponctuellement imprécise en raison de la difficulté de les suivre en surface.

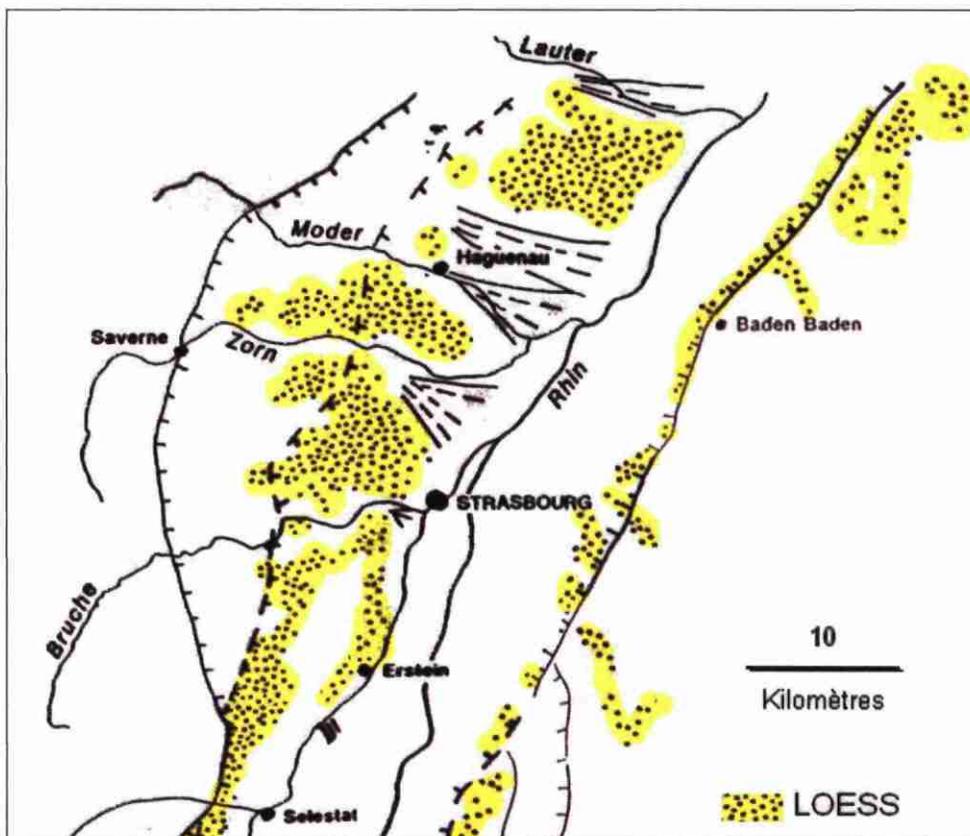


Illustration 10: Localisation des loëss dans la zone d'étude (d'après Ménéillet, 1995).

4. La cartographie

4.1. INVENTAIRE DES FORMATIONS RENCONTREES

Les formations superficielles présentent de nombreuses discontinuités et lacunes sédimentaires. En effet, elles se mettent en place au cours de courtes périodes et proviennent souvent du remaniement d'autres formations superficielles. De plus ce sont généralement des matériaux meubles et récents déjà soumis à l'érosion, à l'altération, aux bioturbations, à l'activité anthropique... C'est pourquoi leur interprétation et leur cartographie sont délicates.

Cette section présente une brève description d'éléments texturaux et structuraux d'importance cartographique pour les unités observées.

4.1.1. Löss

Le löss est un dépôt éolien constitué principalement de particules dont la taille varie de 0,002 à 0,05 mm (silts). Sain et à l'état sec, il a l'aspect d'une terre fine faiblement argileuse à consistance meuble "poussièreuse". Il est de couleur beige à jaunâtre, très homogène et comprend en Alsace une fraction calcaire. De structure massive en couches souvent épaisses de plusieurs mètres, il est dépourvu de litage. Les löss changent de couleur en s'altérant, deviennent ocre ou brun rouge. On note fréquemment la présence de concrétions calcaires dures ("poupées") (Illustration 12) ou meubles en remplissage de fins canalicules ("pseudo mycélium").

Le löss a été déposé dans des zones de moindre turbulence pendant les périodes froides et sèches du Quaternaire (sous climat périglaciaire). Les grandes glaciations favorisent la formation de sédiments éoliens sur les continents car :

- Il y a peu de végétation à proximité des glaciers et sur les plateformes marines exondées par la baisse du niveau marin (Manche) ;
- Beaucoup de sédiments sont broyés devant les glaciers ;
- Et de forts vents soufflent depuis les calottes vers l'avant pays.

La superposition des couches de löss déposées durant les périodes froides successives constitue des complexes lössiques dont l'épaisseur cumulée peut atteindre plusieurs dizaines de mètres. L'épaisseur d'une seule couche de löss dépasse rarement 4 m en Alsace (Ménillet, 1995 ; Quesnel *et al.*, 2002).

En Alsace, les löss couvrent environ le tiers de la surface de la plaine rhénane (illustration 10). Dans les collines situées à l'Ouest de Strasbourg et au Nord de la Bruche, le löss atteint l'altitude de 210 mètres, c'est-à-dire qu'il s'élève à environ 170 mètres au dessus du niveau du Rhin. L'épaisseur de löss atteint par endroits près de 50 mètres. Leur disposition suggère que des vents de secteur nord et ouest ont

joué un rôle majeur dans leur dépôt, avec des vents d'autres directions, par exemple des vents du Sud-Ouest dans le Kaiserstuhl et des vents de l'Est-Nord-Est dans les collines sous-vosgiennes (Ménillet, 1995). Les apports proviendraient de l'Ouest, avec une redistribution par les vents du Nord dans l'axe de la plaine d'Alsace.

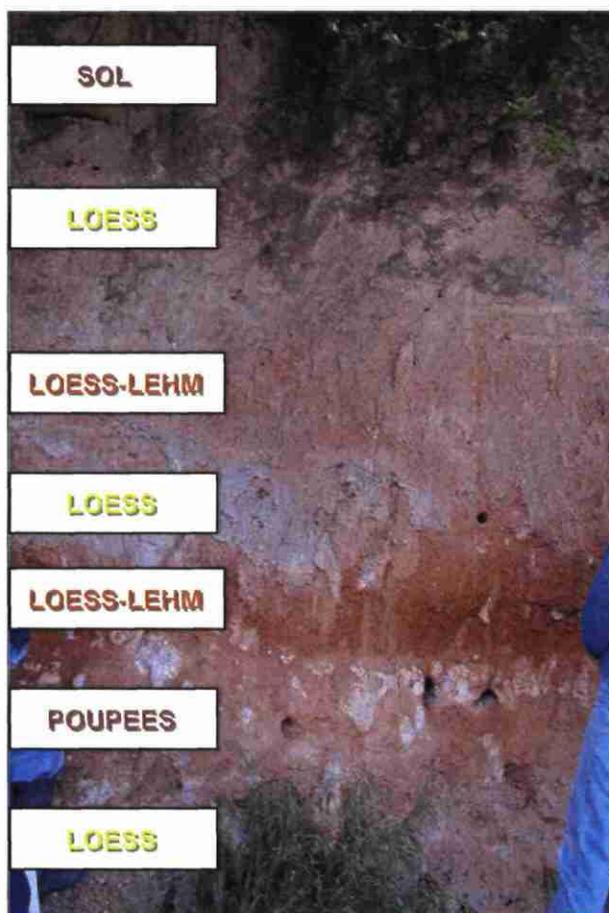


Illustration 11 : Lœss-lehm et lœss de la colline de Blaesheim.



Illustration 12 : Exemple de poupées.

La plupart des lœss d'Alsace se sont établis sur un substrat hors d'eau. Cependant les niveaux gris bleutés à mollusques (indicateurs d'un milieu palustre à lacustre) ne sont pas rares dans les lœss anciens. Minéralogiquement, les lœss sont principalement constitués de fines particules de quartz, de mica, de feldspath, et d'autres silicates ainsi que d'oxydes de fer qui leur donnent une couleur jaunâtre ou ocre.

Les loëss ont subi dans les périodes interglaciaires et les périodes postglaciaires des altérations lessivantes. Ces altérations entraînent une décarbonatation et par conséquent un enrichissement en argile du loëss sur quelques centimètres. Les horizons superficiels lessivés, très meubles, sont généralement complètement érodés tandis que les horizons d'accumulation plus argileux et plus compacts, les loëss-lehms (Illustration 11) sont généralement conservés.

On distingue :

- Les loëss sains beige ocre à beige jaunâtre,
- Les loëss décalcifiés enrichis en argile de couleur brun ocre à brun rouge sous climat interglaciaire,
- Les loëss affectés par une pédogenèse de climat froid sont marqués par des niveaux gris.

Meubles et de granulométrie fine, les loëss sont aisément remaniés par les eaux, surtout peu de temps après leur dépôt (par exemple le long de la Sauer, du Seltzbach). Le modelé du loëss en collines (région Outre-Forêt) paraît être l'œuvre du ruissellement qui depuis l'époque des dépôts, en a érodé la surface. On retrouve ainsi les loëss en bas des terrasses, en remplissage des vallons et bas de versant. Ces remaniements par les eaux de ruissellement constituent les colluvions. Ils tapissent par exemple les bordures de la terrasse de Niedernai et les bordures Nord-Ouest du Bruch de l'Andlau. Leurs épaisseurs sont très variables.

Les limons de débordement remaniant du loëss sont très fréquents dans le Bruch de l'Andlau. Le dynamisme fluvial est de type « chenaux divagants » construisant des bancs et des levées. Le matériel loëssique y est mélangé aux limons et repris le plus souvent dans d'anciennes levées.

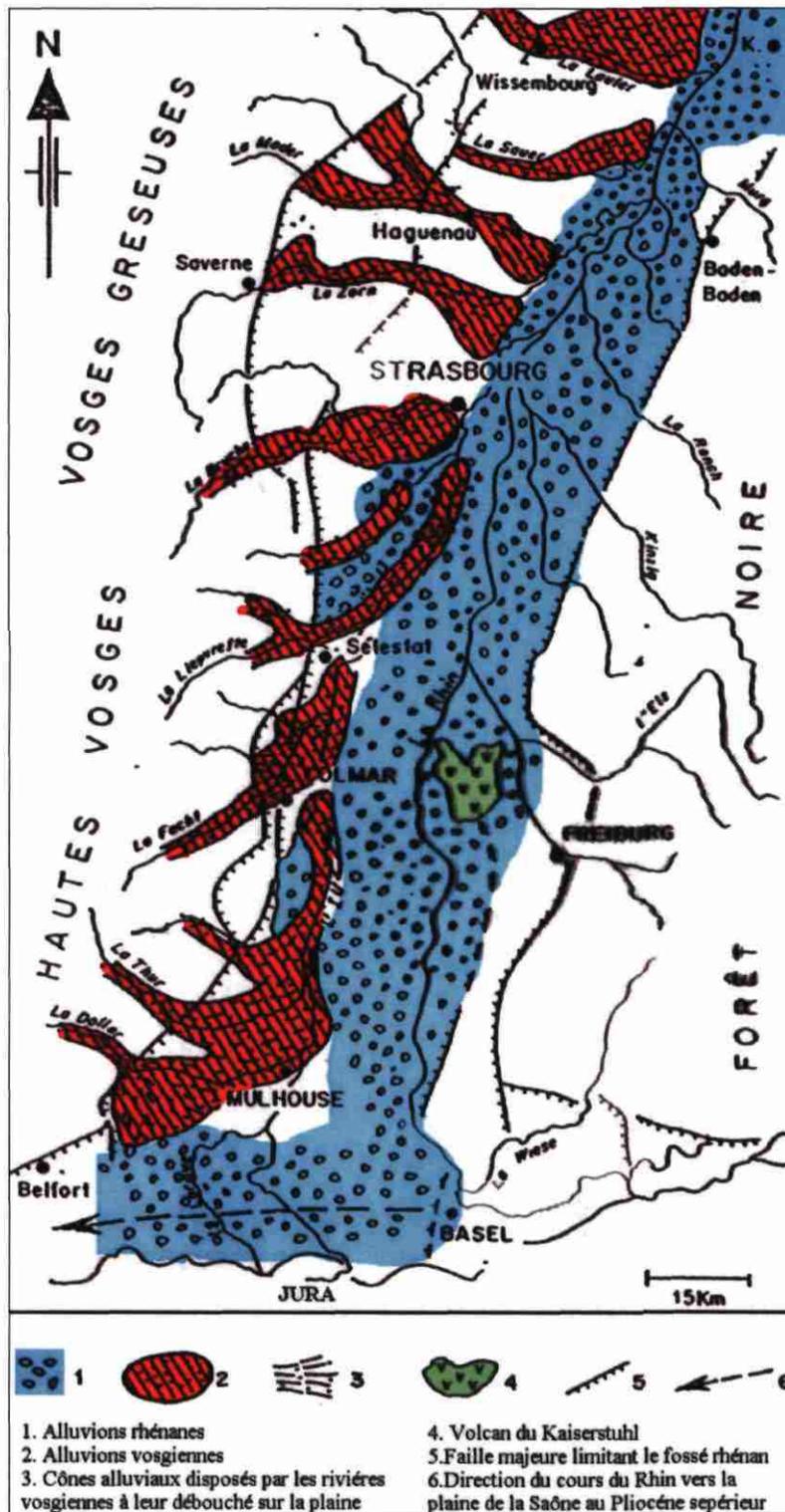


Illustration 13: Carte d'extension des alluvions dans la plaine d'Alsace d'après Ménillet (1995).

4.1.2. Alluvions (Rhin -Vosges)

Pendant tout le Quaternaire, la plaine d'Alsace a fonctionné comme un piège à sédiments, d'autant plus que la subsidence tectonique y est restée active. Le Rhin a divagué sur toute la largeur de la plaine d'Alsace entre Mulhouse et Strasbourg. Dans la basse plaine rhénane, les rivières d'origine jurassienne (l'Ill) ou vosgienne (la Bruche) occupent souvent d'anciens bras du Rhin. A l'Holocène, la largeur de la plaine d'inondation du Rhin s'est réduite et les graviers rhénans ont été recouverts de limons d'inondation, calcaires (apport du Rhin) ou non (apports de l'Ill et des rivières vosgiennes) (Illustration 13). Le drainage est souvent médiocre, surtout dans les secteurs présentant encore une tendance à la subsidence, d'où les évolutions tourbeuses.

Définition générale :

Les alluvions sont des matériaux détritiques, déposés par les cours d'eau. Les subdivisions utilisées sont les suivantes :

- Limons (0,002 à 0,05 mm),
- Sables (0,005 à 0,2 cm),
- Graviers (0,2 à 2 cm),
- Galets (2 à 20 cm)
- Blocs émoussés (20 à 40 cm).

On trouve les alluvions en remplissage de fonds de vallée où elles forment habituellement des replats ("terrasses"), s'étendant sur une faible largeur le long des cours d'eau. Dans les vastes plaines comme l'Alsace, elles occupent des surfaces importantes dont la largeur peut dépasser 10 km.

Alluvions rhénanes :

Les alluvions rhénanes sont des dépôts détritiques mis en place par le Rhin au cours du Quaternaire, dont les matériaux sont originaires des Alpes, du Jura et de la plaine molassique suisse.

Ces alluvions sont principalement constituées de galets et de sables gris verdâtre micacés (30 à 50 %). Sans réelle stratification, elles présentent toutefois des intercalations de sable, de limon (Illustration 14) et de tourbe (inférieures à 2 m d'épaisseur). Elles sont souvent recouvertes d'une fine couche (0,10 à 1,50 m) de limon sableux gris ou de limon tourbeux brunâtre à noir (Ried). Le limon sableux a été apporté lors d'anciennes crues du fleuve. Il est formé d'un mélange de sable fin, d'argile et de carbonate. La proportion de sable a de l'influence sur le degré de perméabilité du sol et par la suite sur la végétation de la surface.

Selon leur origine, on reconnaît les galets par leur pétrographie caractéristique :

- *Galets d'origine alpine* : **Quartzite** (de grande taille, de teinte grise, beige à brunâtre), protogine (granite clair chloritisé), gneiss à amphibole, amphibolite, **radiolarite rouge** (en petits galets), quartz à enclaves chloritisées et calcaires du Jurassique des Préalpes (Ménillet, 1995),
- *Galets d'origine vosgienne ou de la Forêt-Noire* : Granites roses, porphyroïdes gris, gneiss, microgranite, rhyolites roses, microconglomérat permien, quartz, quartzite, et diverses roches à faciès volcanique,
- *Galets d'origine jurassienne* : **Calcaires** gris,
- *Autres* : blocs de roches volcaniques du Kaiserstuhl (gris sombre à cristaux d'augite noirs), blocs de grès des Couches à mélettes du Sundgau.

On reconnaît l'origine des sables par leur pétrographie et leur couleur caractéristique :

- *Sables d'origine alpine* : Sable fin quartzeux gris verdâtre à muscovite, chlorite, hornblende verte et calcite,
- *Sables à grain moyen à grossier d'origine vosgienne et de la Forêt-Noire* : Sables quartzeux roses, parfois limoneux, à quartz à patine rouge, feldspaths, biotite, et débris de schistes.



Illustration 14: Alluvions rhénanes présentant des stratifications obliques.

Dans notre secteur d'étude, les alluvions rhénanes occupent presque toute la largeur du Fossé rhénan et sont souvent saturées en eau. Consécutivement à l'aménagement hydraulique du fleuve, le niveau de la nappe s'est abaissé et la partie supérieure des alluvions n'est plus saturée et est donc accessible. Les nombreuses gravières de la partie méridionale de la plaine d'Alsace permettent ainsi d'observer des coupes dans ces alluvions.

Au Nord de Strasbourg, les alluvions rhénanes n'occupent qu'une bande assez étroite, d'une largeur inférieure à 10 km alors qu'au Sud et jusqu'à Mulhouse, elles occupent presque toute la largeur du Fossé rhénan.

A Strasbourg, l'épaisseur des alluvions rhénanes atteint 125 mètres au fond du paléochenal à proximité du port du Rhin. Réduite à 60-70 mètres au centre ville, elle est de 40 à 60 mètres à 35 km au Nord de Strasbourg (Auenheim).

Les alluvions de l'III

Le limon charrié par l'III est de teinte plus jaune que celui du Rhin et paraît plus chargé en matière organique.

Alluvions vosgiennes

Par le terme d'alluvions vosgiennes sont désignés les matériaux déposés par les affluents du Rhin d'origine vosgienne dans les vallées du massif montagneux et dans la plaine d'Alsace. Ces alluvions peuvent être interstratifiées dans les alluvions rhénanes mais sont le plus souvent redistribuées dans celles-ci.

Au Nord de la Bruche, les alluvions vosgiennes sont constituées essentiellement de sable rouge (Illustration 15) avec des interstratifications de petits galets de quartz et de quartzite, matériaux remaniés des grès vosgiens (Buntsandstein). La stratification est généralement bien marquée.

Au Sud de la Bruche, les matériaux alluvionnaires proviennent principalement du socle vosgien (ou « Vosges cristallines ») : galets de granite, de gneiss, de schistes, de grauwackes, sables d'origine variée (arènes granitiques, grès vosgien) et limons beiges à rougeâtres provenant des altérites du socle vosgien. Elles sont grossières à dominance de galets et de blocs roulés dans les principales vallées. La stratification est peu marquée.



Illustration 15: Alluvions de la Bruche (carrière de Griesheim-sous-Molsheim).

La vallée de la Bruche séparant approximativement les Vosges gréseuses et les Vosges "cristallines" présente un type mixte. On observe aussi que les lits majeurs des rivières vosgiennes sont relativement larges dans leur cours moyen et inférieur, avec un lit majeur et un lit mineur bien marqués.

A l'Ouest de la plaine rhénane, des vallées vosgiennes jusqu'aux hautes terrasses du piémont, les différents niveaux d'alluvions sont généralement étagés en terrasses dont les plus anciennes sont plus élevées. Au débouché dans la basse plaine, ces niveaux ont tendance à s'interstratifier dans les alluvions rhénanes selon l'ordre stratigraphique. Les différents niveaux d'alluvions vosgiennes se croisent donc à proximité de la plaine.

4.1.3. « Tourbe » (sédiments organiques)

La tourbe est un dépôt organique formé par l'accumulation de débris ou de parties végétales mortes dans un milieu ennoyé, en conditions anaérobies. Elle apparaît sous forme de fibres et d'éléments végétaux noirs, imparfaitement décomposés par l'action des bactéries. L'acidité du milieu permet d'opposer les tourbières acides (ou acidiphiles) aux tourbières basiques (ou alcalines), l'échelle des valeurs de pH rencontré en tourbières s'étendant de pH 3 (acide) à pH 8 (alcalin) avec une frontière biologique se situant autour de pH 5,5.

Dans la zone d'étude, les véritables tourbières sont peu fréquentes et elles sont de type basique. Il s'agit le plus souvent de bas marais à roseaux ou à aulnes où s'est développé un sol brun ou noir tourbeux (Illustration 16). Les bas-marais ou "tourbières basses" sont liés à la présence d'une nappe affleurante. L'inondation n'y est généralement pas permanente et les couches superficielles du sol s'assèchent en période estivale, permettant ainsi la minéralisation d'une partie de la matière organique.

Cette formation est très fréquente dans les Ried ou Bruch. En allemand ces mots signifient respectivement « roseau » et « marécage », ce sont des prés humides un peu spongieux correspondant à d'anciennes plaines d'inondation. Le milieu naturel du Ried est entièrement conditionné par une donnée écologique majeure : la présence d'une nappe phréatique abondante et courante à faible profondeur dans le sol. Cette nappe est localement subaffleurante et périodiquement inondante.

Ces tourbières à caractère basique se développent sur les limons d'inondation holocènes du Rhin, localisés entre Strasbourg et Sélestat, entre Strasbourg et Soufflenheim et aussi dans la vallée de l'Ill.

Au sud de Strasbourg, le Ried actuel comprend trois subdivisions longitudinales principales :

- à l'Est le Ried rhénan (ou Ried blanc) avec la forêt du Rhin et la dépression du Ried rhénan au sens strict parcourue par des rivières phréatiques,
- au centre les levées cultivées,
- à l'Ouest le Ried de l'Ill large et marécageux où ont été décrits le Ried gris, le Ried brun et le Ried noir (Carbiener, 1969).

Au distingué au Nord de Strasbourg les Rieds du Nord de l'Alsace, liés au débouché des cours d'eau vosgiens dans la basse plaine rhénane, au Sud de Strasbourg le Grand Ried lié à l'Ill et ses affluents. A l'Ouest de l'Ill il existe un autre Ried, bien particulier : le Bruch de l'Andlau lié à ce dernier cours d'eau.

Ces derniers marais de l'Alsace nés des caprices du Rhin et de ses affluents constituent un paysage caractéristique dans lequel vit un monde animal et végétal bien particulier et à protéger.



*Illustration 16: Tourbe peu évoluée du Bruch de l'Andlau et sol tourbeux.
(noter la présence de nombreux débris végétaux modérément altérés)*

4.2. ALTERATIONS

4.2.1. Pédogenèse et paléosols

La pédogenèse est l'ensemble des processus physiques, chimiques et biologiques se déroulant dans les sols et qui, en interaction les uns avec les autres, aboutissent à la différenciation de la couverture pédologique.

La présence de traînées blanchâtres de carbonates (dénommées pseudomycélium) matérialisant la position d'anciens systèmes racinaires est l'indice d'une pédogenèse développée sous un sol ancien. Les lœss-lehm représentent des paléosols comme nous l'avons développé précédemment.

4.2.2. Hydromorphie (gley et pseudo gley)

Les sols hydromorphes sont le plus souvent de sols à couche de gley (horizon présentant des conditions réductrices permanentes dit horizon réductique), apparaissant à 30 ou 40 cm de profondeur et pouvant atteindre une grande épaisseur (1 m et plus). Ce gley peut être soit minéral, de couleur gris-bleu ("Ried gris") (Illustration 17), soit organique, de couleur noire ("Ried noir"). Ce type d'hydromorphie est lié à la présence d'une nappe alluviale permanente dans le sol à faible profondeur (de 1 à 2 mètres). Il est ici essentiellement formé d'argiles gonflantes (plus de 50 %) ennoyées en permanence par la nappe et contenant du fer ferreux d'où sa couleur verdâtre. Le mécanisme de formation de ces dépôts argileux épais est liée à la remontée lente du niveau de la nappe dans les zones marginales d'inondation à décantations argileuses. Ceci est dû à la surélévation progressive du lit des cours d'eau.

Le gley a la couleur de la vase à l'état humide (gris foncé, verdâtre, bleuâtre ou noirâtre) et devient gris clair à l'état sec. Il peut être argileux, limoneux ou sableux. Il est habituellement homogène, des fentes de dessiccation n'apparaissant que dans les gleys argileux ayant subi un assèchement, prenant assez rapidement un faciès de gley oxydé si l'abaissement du niveau d'eau dure un certain temps. Dans la basse plaine on rencontre ainsi souvent des gleys oxydés, liés à l'abaissement du niveau de la nappe (illustration 17).

Le pseudogley (ou horizon présentant des conditions réductrices temporaires dit horizon rédoxique) est associé à une couche profonde enrichie en argile, principalement par lessivage. Les eaux de pluie infiltrées forment alors une nappe perchée temporaire. Des taches de couleurs bariolées rouille et gris apparaissent, correspondant à l'état oxydé ou réduit du fer en présence d'oxygène ou non.

Ces nappes perchées sont souvent associées aux sols limoneux anciens, parfois sableux, lessivés, d'origine alluviale ou éolienne, cas des lehms. Parfois, les deux types d'hydromorphie peuvent être présents dans le même sol, avec tous les degrés d'évolution possibles.



Illustration 17 : Gley gris en voie d'oxydation

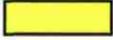
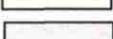
Couche couverture		
	haIR	Limons rhénans
	haIRd	Limons rhénans, décalcifiés
	hI	Limons de l'III
	hI-ht	Limons de l'III, tourbescents
	haIV	Limons vosgiens
	haIV-ht	Limons vosgiens, tourbescents
	haIV-hgV	Limons vosgiens à éléments grossiers
	haIV-lo	Limons vosgiens pollués par des loess
	ht	Argiles et tourbes noires
	lo	Loess
	lod	Loess, décalcifiés
	hu	Colluvions loessiques
	C	Colluvions indifférenciées
	S	Matériaux de solifluxion
Couche substrat		
	hsR	Sables rhénans
	hgR-hsR	Graviers et sables rhénans
	hgR-hxR	Graviers rhénans (à galets)
	hgRd	Graviers rhénans, décalcifiés
	hsV	Sables vosgiens
	hsV-hgV	Sables graveleux vosgiens
	hgV-hsV	Graviers sableux vosgiens
	hgV	Graviers vosgiens
	hgV-hxV	Graviers vosgiens à blocs

Illustration 18 : Légende adoptée pour la restitution cartographique

4.3. RESTITUTION CARTOGRAPHIQUE

4.3.1. Légende adoptée

Les levés cartographiques ont fait l'objet d'une restitution sous forme de cartes suivant le découpage en petites régions naturelles des Guides des sols d'Alsace publiés par la Région Alsace (annexes 1 à 4). Sur ces cartes ont été représentées la couche substrat et la couche couverture, les remblais ont été omis pour une meilleure lisibilité. Le socle du Massif vosgien et des collines sous-vosgiennes apparaît en gris, sur certaines cartes les failles extraites des cartes géologiques à 1/50 000 ont été représentées en noir pour mettre en évidence les champs de fracture. Le bâti et l'hydrographie proviennent de la BDCarto de l'IGN, la limite de la petite région naturelle est tracée en vert.

La restitution cartographique de la lithologie (Illustration 18) est alignée sur celle adoptée pour les rendus précédents (Quesnel et al., 2002). Elle présente les alluvions d'origine rhénane dans des tons bleus et verts, bleu pour les limons, verts pour les sables et graviers. Les alluvions vosgiennes sont rendues dans des tons roses (avec la convention : foncé = peu perméable, de rose très pâle pour les sables et graviers à magenta pour les limons).

Les limons de l'Ill sont rendus en gris-bleu avec un motif tireté horizontal pour les mettre en évidence. Lorsqu'ils sont tourbescents le motif passe à des rayures horizontales continues, les tourbes et argiles tourbeuses portant le même motif sur fond brun. De façon générale les phénomènes d'hydromorphie sont marqués par des rayures horizontales. Les formations loessiques et leurs colluvions sont rendues classiquement dans des tons jaunes.

4.3.2. Le Ried nord

LA PETITE REGION NATURELLE

Cette petite région naturelle représentée en annexe 1 correspond à l'extrême Nord de l'Alsace et elle est limitée (Illustration 19) :

- A l'Ouest par la terrasse de Haguenau-Riedseltz (région naturelle "Outre-Forêt et forêt de Haguenau",
- Au Nord par la frontière franco-allemande vers Lauterbourg,
- A l'Est par le Rhin,
- Au Sud par l'agglomération strasbourgeoise.

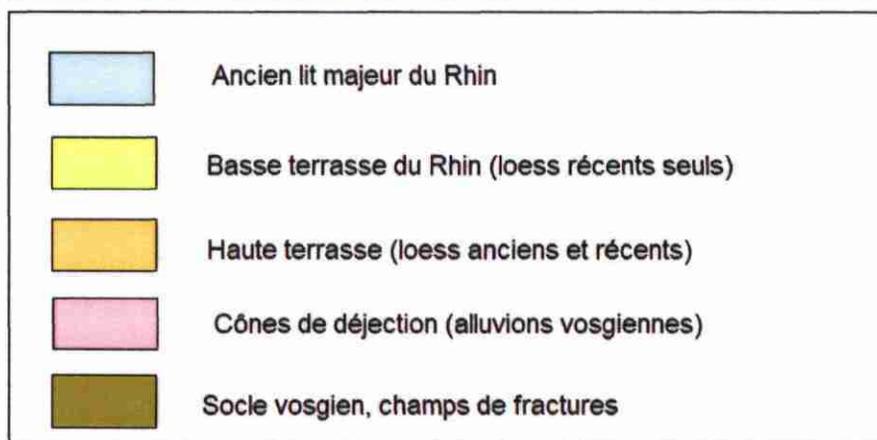
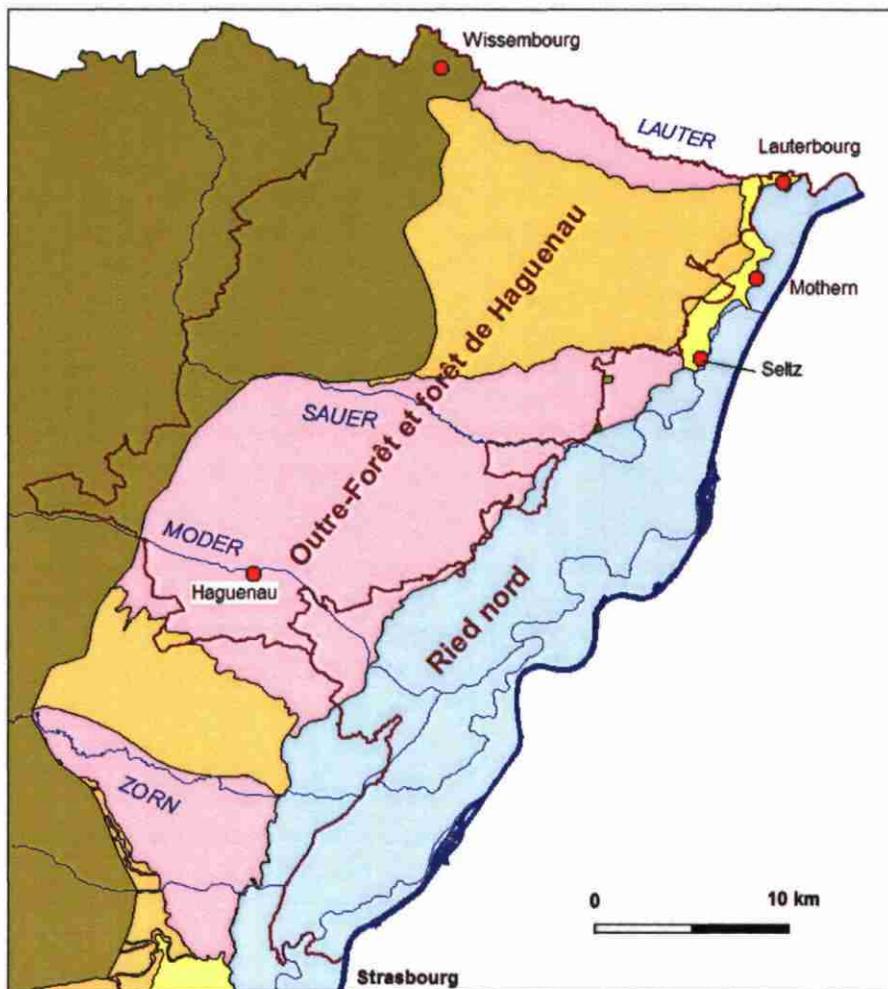


Illustration 19 : Le "Ried nord" et la région "Outre-Forêt et forêt de Haguenau"

La petite région naturelle "Ried nord" représente une surface d'environ 30 000 ha. Elle est comprise dans l'aire d'extension de la nappe alluviale du Rhin et de ses affluents. L'essentiel des formations décrites ici se sont constituées à partir de matériaux alluviaux déposés par le Rhin et les rivières vosgiennes. Cela entraîne une certaine variabilité des formations, notamment des alluvions rhénanes qui peuvent contenir une forte proportion de matériaux vosgiens.

On distingue traditionnellement dans ce secteur la basse plaine rhénane et la terrasse de Haguenau-Riedseltz à soubassement de sédiments pliocènes. La terrasse de Haguenau-Riedseltz est recouverte de loess dans ses parties nord et sud, au centre les loess ont été déblayés par les rivières Sauer et Moder qui ont déposé au Pléistocène moyen leurs alluvions récentes caractérisées par des sables rouges et des galets très arrondis de quartz et de quartzite issus de l'érosion des grès du Trias.

LA TERRASSE DE MOTHERN

A première vue une seule entaille marque le rebord de la terrasse de Haguenau-Riedseltz. Cependant la carte géologique de Seltz indiquait la présence d'alluvions rhénanes sous les loess (Geissert et al., 1976) et les hydrogéologues du Palatinat considéraient que la nappe se poursuivait sous les loess au Nord de Lauterbourg (Fomsgaard et Elsass 2004). Aussi une étude détaillée de la piézométrie a-t-elle été réalisée en 2004 sur la bordure de la nappe dans le Ried Nord.

Cette étude a montré qu'il existait entre Seltz et Lauterbourg une basse terrasse de matériaux du Rhin recouverts de loess récents (Speisser, 2004). Au niveau de Mothern la basse plaine rhénane est à la cote 110 m environ, la basse terrasse à la cote 125 m et la haute terrasse pliocène à la cote 140 m (Illustration 20). La nappe rhénane est en continuité avec la nappe phréatique de la basse terrasse, comme le montre la piézométrie, alors que la piézométrie de la haute terrasse recouverte par les alluvions de la Sauer est nettement discordante.

Nous proposons de baptiser cette terrasse "Terrasse de Mothern".

Elle se poursuit au Nord de la frontière au Palatinat le long du Horst du Buchelberg. Une coupe Ouest-Est passant juste au Nord de la frontière, par la ville allemande de Berg au NE de Lauterbourg, montre que les sables et graviers rhénans se poursuivent sous la basse terrasse et qu'ils ont été entaillés par le Rhin avant le dépôt des graviers de la basse plaine rhénane holocène (Illustration 21).

La cartographie détaillée des formations superficielles montre de plus que cette terrasse comprend en fait deux terrasses successives. La terrasse inférieure, dont la bordure est la plus nette, est haute de 8 à 12 mètres au dessus des eaux du Rhin, mais à un kilomètre au Nord-Ouest de Mothern, les deux étages sont réunis en une terrasse unique dont la hauteur est de 18 mètres (cf. carte en annexe 1).

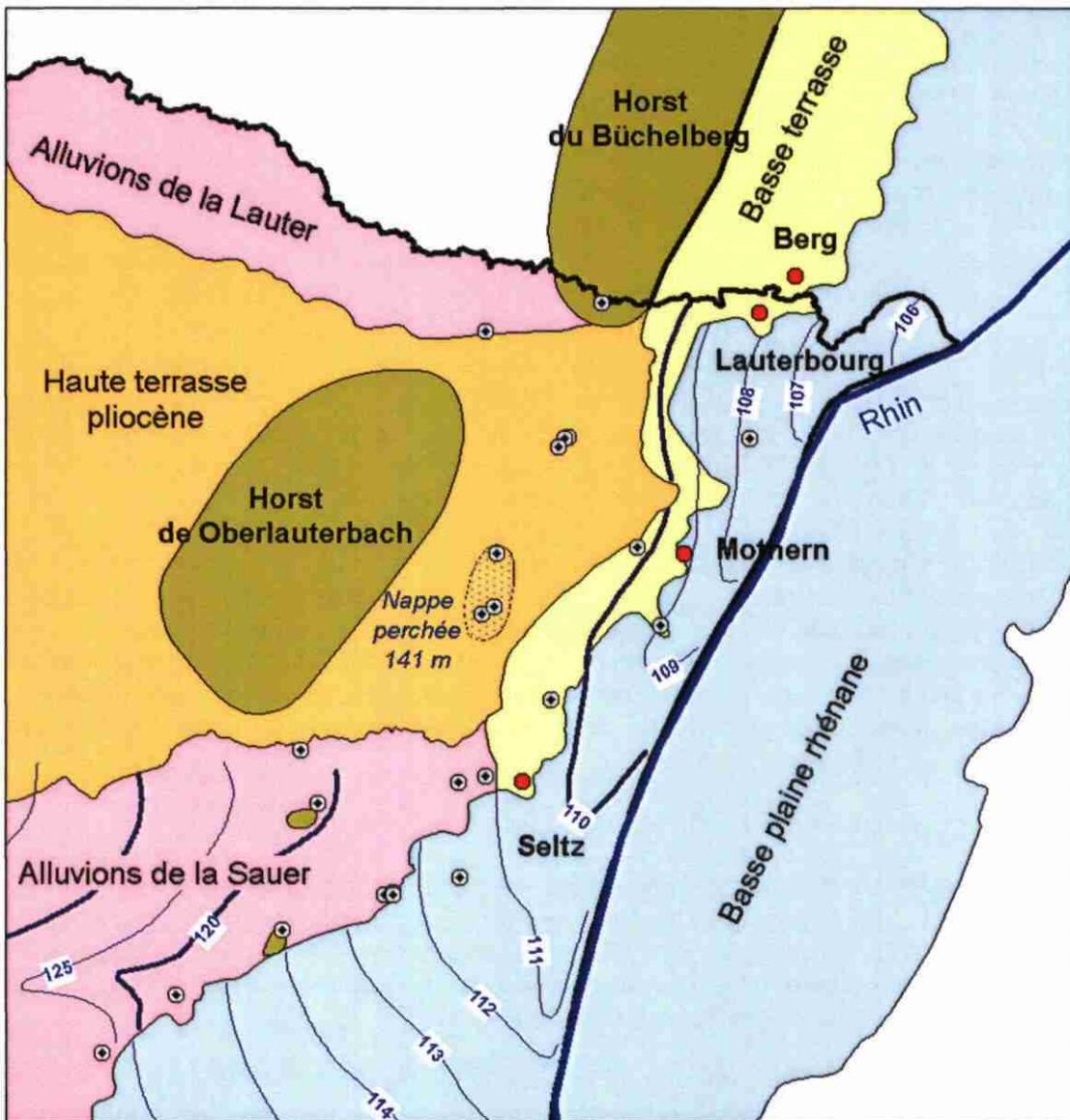


Illustration 20 : Piézométrie basses eaux de l'extrême Nord de la plaine d'Alsace

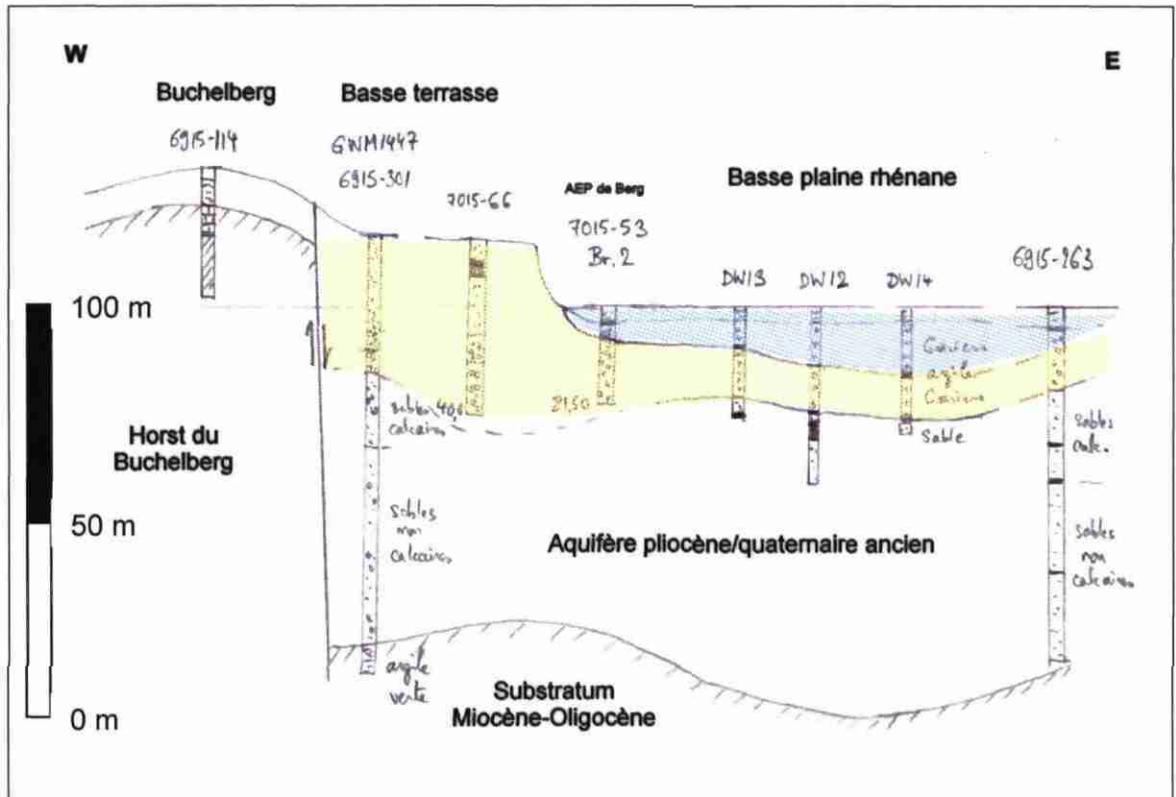


Illustration 21 : Coupe schématique W-E des terrasses au niveau de Berg (Palatinat).
Jaune : sables et graviers rhénans de la basse terrasse ; bleu : sables et graviers limoneux holocènes (d'après Fomsgaard et Elsass, 2004)

4.3.3. La région "Kochersberg et collines de Brumath"

LA PETITE REGION NATURELLE

Cette région située au NW de Strasbourg est représentée en annexe 2. Elle est limitée :

- A l'Ouest par les Vosges gréseuses et les collines de Marmoutier,
- Au Nord par la vallée de la Moder,
- A l'Est par la plaine du Rhin,
- Au Sud par la basse vallée de la Bruche.

La région "Kochersberg et collines de Brumath" représente une surface d'environ 75 000 ha. On y distingue, dans l'emprise des alluvions de la nappe d'Alsace, le plateau de loess de Achenheim-Mundolsheim qui correspond à une haute terrasse recouverte de loess anciens (180 à 190 m d'altitude), et la basse terrasse de

Schiltigheim (140 à 150 m d'altitude). Les collines de Brumath sont le prolongement vers le Nord de la haute terrasse entaillée par le cône de déjection de la Zorn (Illustration 22).

Le bas-Kochersberg ou Ackerland du Kochersberg correspond à l'espace situé entre les vallées de la Zorn et de la Bruche. Il s'agit d'un plateau ondulé (180-280 m d'altitude) orienté Sud-Ouest/Nord-Est, constitué de marnes masquées par un manteau loessique pouvant atteindre 30 mètres d'épaisseur. Ce secteur est dépourvu d'aquifère pouvant permettre une alimentation en eau potable importante.

Le sous-sol, constitué de calcaires et de marnes oligocènes à l'Ouest et d'alluvions rhénanes à l'Est, est partout recouvert d'un épais manteau de loess (10 m en moyenne). C'est ce qui explique la vocation agricole du Kochersberg et justifie parfaitement son ancien surnom de "grenier à blé de l'Alsace": La combinaison des conditions climatiques (combinaison de la chaleur et de l'humidité) et pédologique (fertilité du loess) ont permis le développement d'une agriculture prospère et diversifiée (céréales, cultures spéciales : houblon, betterave sucrière, tabac...).

Le paysage se dessine tel un patchwork de grandes parcelles de culture, des prés localisés aux fonds des vallons, des arbres fruitiers et parfois, de la vigne sur les rares pentes plus raides ponctuées de villages aux clochers-donjons implantés sur les basses pentes et de ce fait protégés des vents d'Ouest.

Le cône de la Zorn est caractérisé par des formations alluviales vosgiennes localement recouvertes de loess. Ces alluvions formées de sables et graviers perméables constituent un important aquifère qui s'écoule de l'Ouest vers l'Est avec un gradient moyen de 0,1% (Région Alsace, 1995). Le battement de la nappe varie de 1 à 3 mètres. La vulnérabilité est importante, le loess ne constituant pas un véritable écran protecteur vis à vis d'éventuelles infiltrations polluantes.

Les sols loessiques profonds et meubles du Kochersberg sont le lieu de vie du Grand Hamster Sauvage (*Cricetus cricetus*) (Illustration 23). L'espèce vit dans les milieux de culture à basse altitude, caractérisés par des terrains profonds, stables (loess, argile...), uniquement dans les zones à loess non inondables, permettant la construction des terriers. Il fuit les zones humides. Il se complait surtout dans les luzernières, mais celles-ci disparaissent peu à peu. On peut aussi le rencontrer dans les céréales d'hiver mais très peu dans le maïs (Baumgart, 1996, cf. site <http://mapage.noos.fr/baumgart/>)

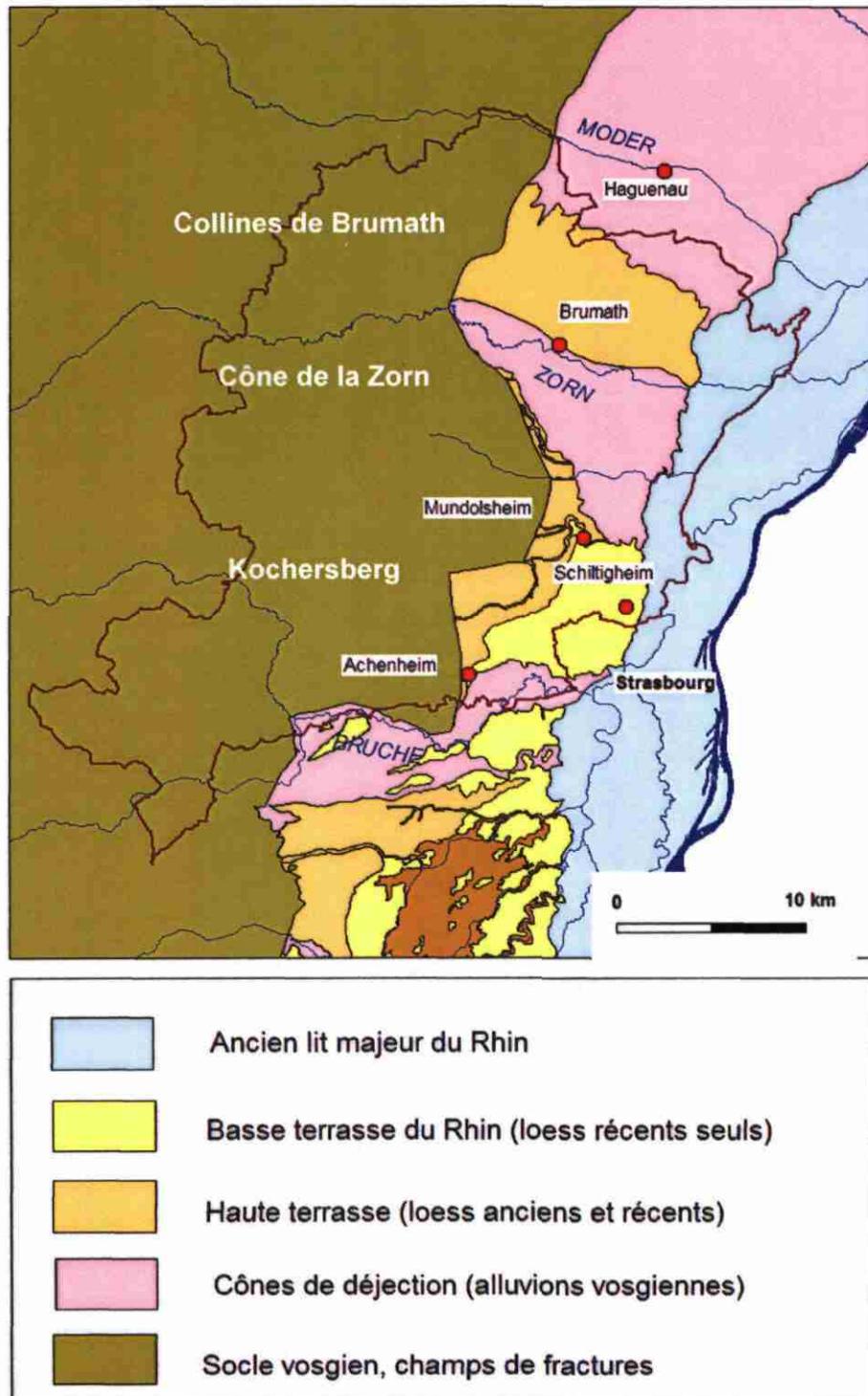


Illustration 22 : La région "Kochersberg et collines de Brumath"



Illustration 23: Le Grand Hamster (Cricetus cricetus), autrefois appelé "Marmotte de Strasbourg" ou "Kornfarel" (petit cochon des blés), fait partie intégrante du patrimoine faunistique alsacien comme la cigogne (photos G. Baumgart).

L'Alsace est la seule région française dans laquelle l'espèce est présente. Aujourd'hui il ne survit que difficilement dans environ 60 communes du Bas-Rhin (cf. site <http://www.ecologie.gouv.fr/>). Il existe encore quelques noyaux de peuplement au sud-ouest de Strasbourg avec des densités printanières comprises entre 0.5 et 9.3 terriers/ha et cela malgré les mesures prises jusqu'ici : l'espèce est inscrite sur la Liste des Mammifères protégés depuis 1993 et un arrêté du Ministère de l'Environnement (10.10.1996) définit les conditions actuelles de sa protection.

LE GRABEN DE PFULGRIESHEIM

La terrasse de Schiltigheim recouvre des alluvions vosgiennes et rhénanes qui font partie de l'aquifère principal de la nappe d'Alsace. Plus à l'Ouest débute la haute terrasse du Kochersberg marquée par une ligne de collines connues sous le nom de Collines de Hausbergen. On soupçonnait que cette ligne de collines correspondait à un horst très étroit entre failles (voir Illustration 24), et on savait que les loess recouvraient des sables rhénans.

On croyait l'extension vers l'Ouest de ces sables rhénans très limitée car des terrains oligocènes étaient cartographiés (de façon erronée, comme il est apparu par la suite) sous les loess à Pfulgriesheim. Cet état des connaissances était encore reflété par la coupe hydrogéologique transfrontalière Strasbourg-Offenbourg (Elsass et Rau, 1995). On connaissait par ailleurs une faille récente observée dans les loess à Achenheim, mais le lien n'était pas fait avec les failles supposées à Oberhausbergen (Illustration 24).

Une découverte importante devait avoir lieu en 1993 avec le forage de reconnaissance de Pfulgriesheim.

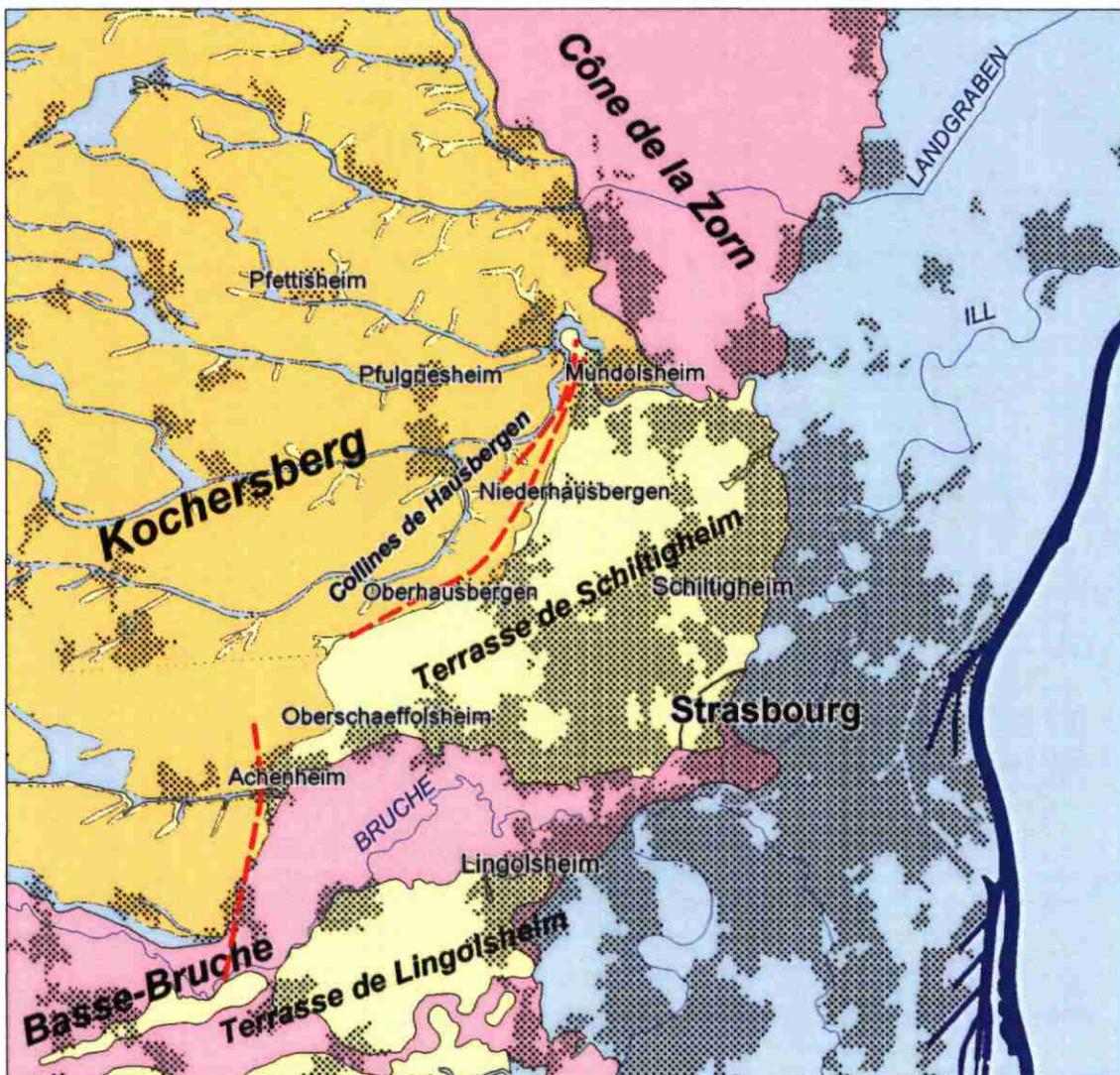


Illustration 24 : Les terrasses loessiques de l'Ouest de Strasbourg
(en rouge : failles supposées de la carte géologique à 1/50 000)

En effet un forage de recherche d'eau réalisé en 1993 par le BRGM pour le Syndicat d'Adduction d'Eau de Strasbourg-Nord et son maître d'oeuvre le SDEA a mis en évidence la présence d'une puissante série de graviers rhénans à Pfulgriesheim (Buard *et al.*, 1994). Le substratum des graviers rhénans était atteint à 96 m, soit à une plus grande profondeur qu'à Strasbourg plus à l'Est : on était donc en présence d'une structure affaissée d'âge Quaternaire, d'un graben ou demi-graben, séparé de la terrasse de Schiltigheim par les Collines de Hausbergen.

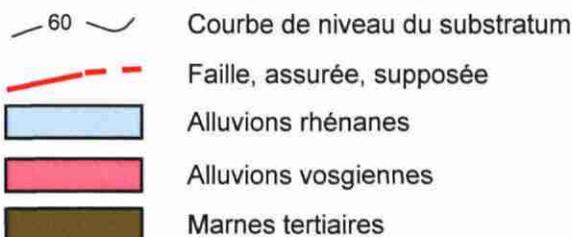
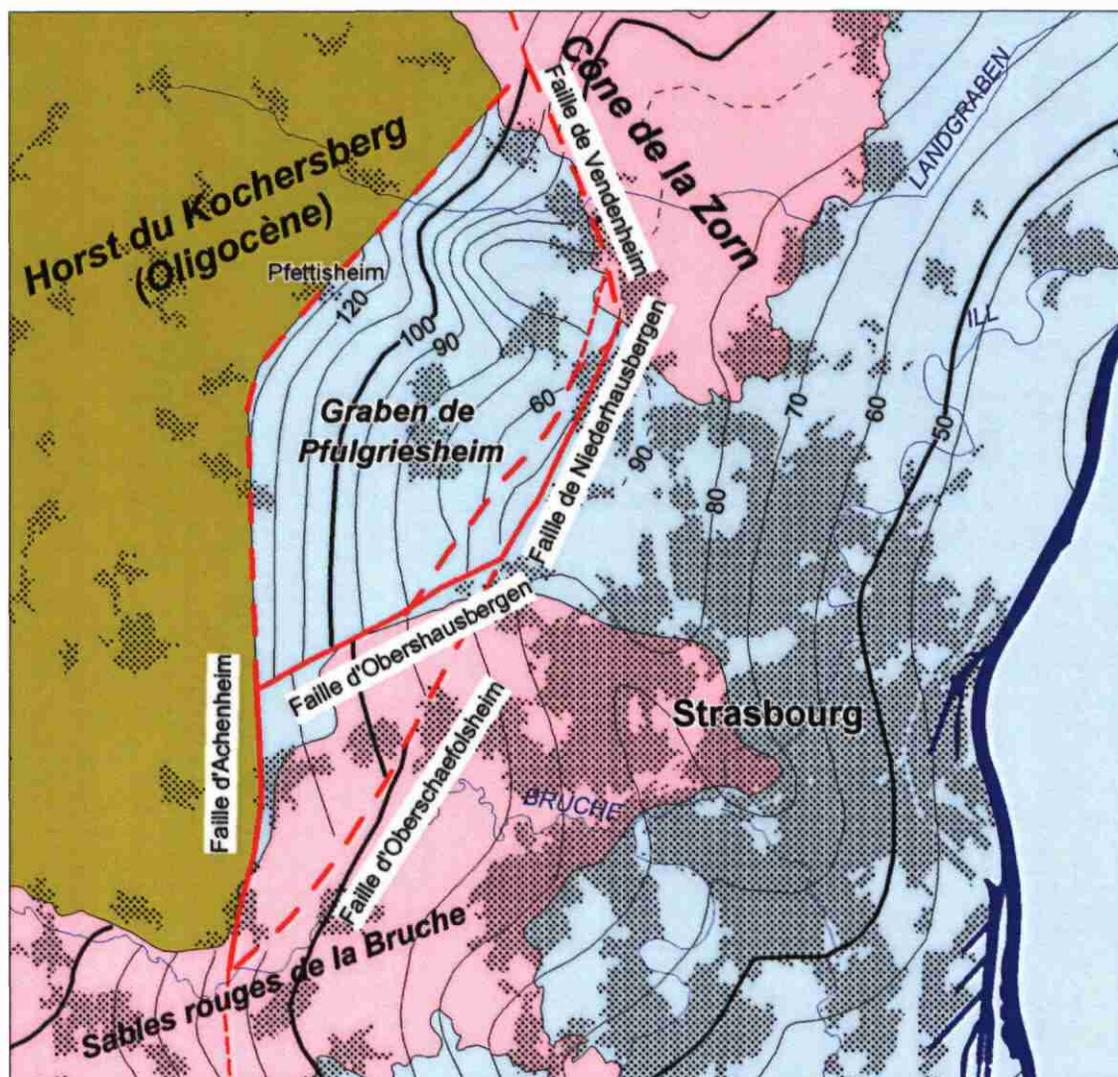


Illustration 25 : Ecorché du Graben de Pfulgriesheim sans les loess anciens

Les recherches d'eau poursuivies par le bureau d'études ANTEA pour les mêmes commanditaires et pour la CUS ont progressivement permis de délimiter ce graben que nous désignerons sous le nom de "Graben de Pfulgriesheim" (Gemin *et al.* 1998, Talbot et Bendler 2004, Frey 2006). Le Graben serait limité à l'Ouest par une faille d'effondrement en cuillère prolongeant la Faille d'Achenheim, à l'Est par la Faille de

Niederhausbergen dédoublée en Horst très étroit, au Nord par la faille supposée de Vendenheim et au Sud par la faille assurée d'Oberhausbergen (Illustration 25).

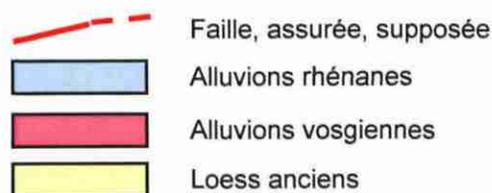
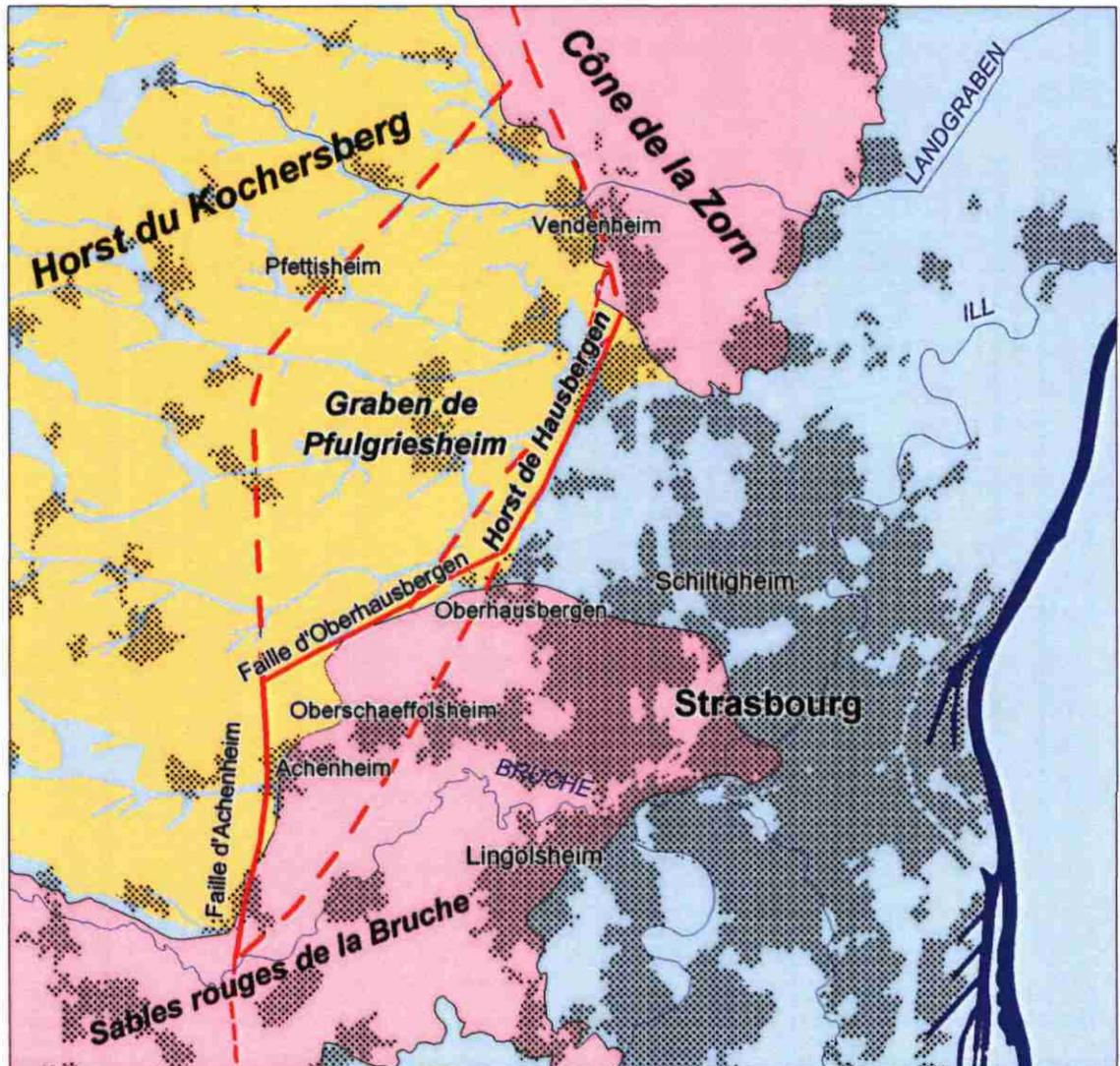


Illustration 26 : Ecorché du Graben de Pfulgriesheim sans les loess récents

La Faille d'Achenheim paraît largement avoir été scellée par les loess anciens du Pléistocène moyen à supérieur, mais sa partie sud (visible dans la carrière

d'Achenheim) ainsi que la faille d'Oberhausbergen auraient continué à jouer, délimitant une terrasse entaillée au Sud par les sables rouges anciens de la Bruche (Illustration 26).

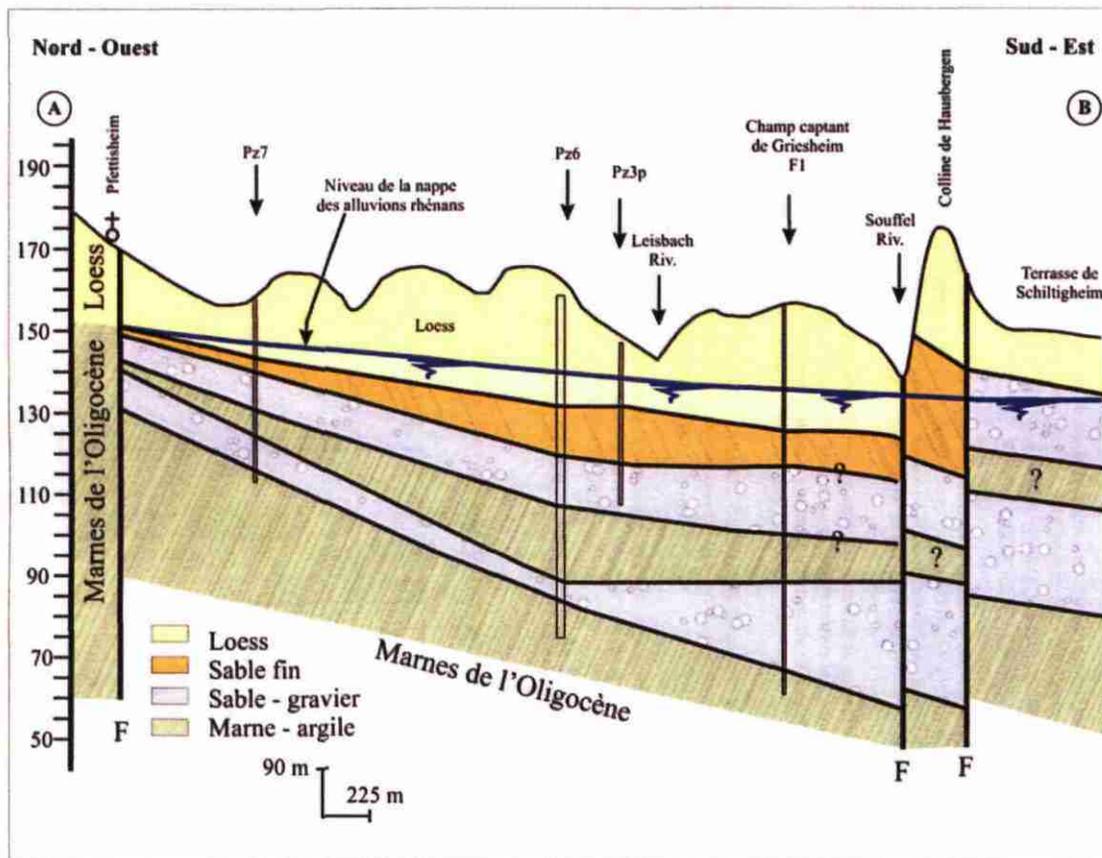


Illustration 27 : Coupe schématique NW-SE du Graben de Pfulgriesheim (Frey, 2006)

L'illustration 27 donne une coupe schématique du Graben depuis Pfttisheim au NW jusqu'à Oberhausbergen au SE. Le pendage des couches qui se réduit vers l'Est indique qu'il s'agit d'une demi-graben plus affaissé au SE et ayant joué pendant la sédimentation. L'affaissement continu de ce graben a préservé des intercalaires argileux et sableux fins à niveaux de tourbe qui ont été érodés dans la partie plus centrale de l'aquifère.

Ce Graben remarquable, en plus de son intérêt pour l'alimentation en eau potable, mériterait des études plus poussées (géophysiques pour en reconnaître les structures, palynologiques pour en dater les épisodes) qui apporteraient des informations cruciales pour la tectonique récente du Fossé rhénan.

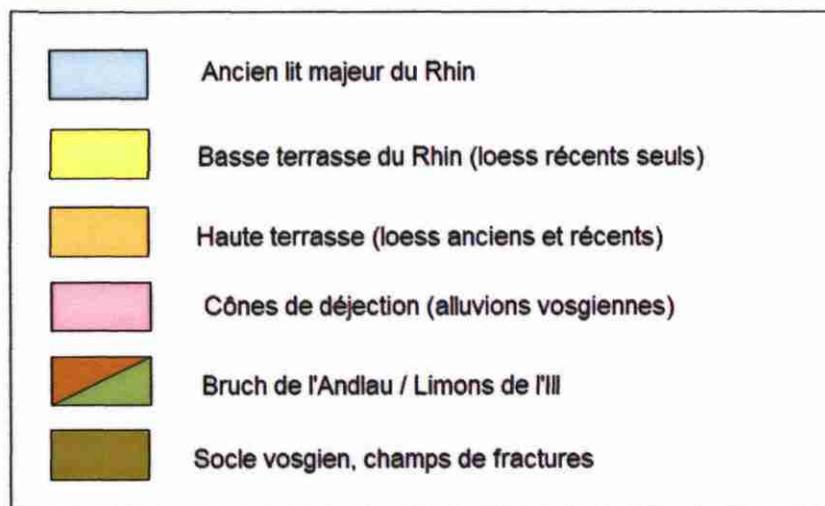
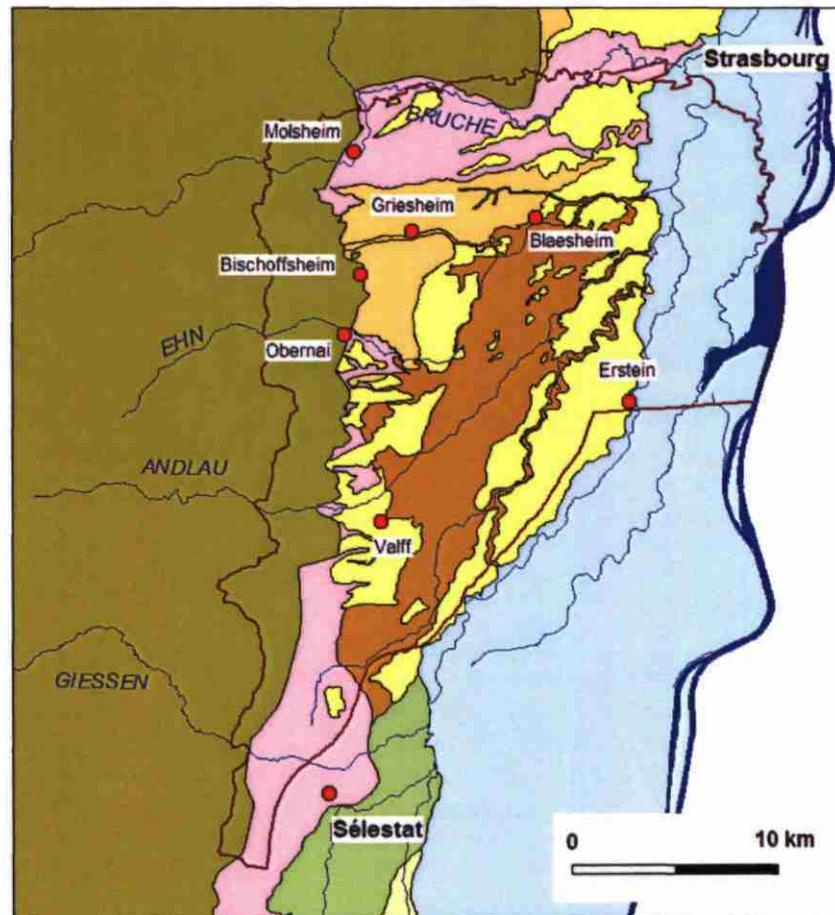


Illustration 28 : Carte morphologique de la région "Plaine d'Erstein à Obernai"

4.3.4. La région "plaine d'Erstein à Obernai"

LA PETITE REGION NATURELLE

Cette région représentée en annexe 3 correspond à la partie centrale de la plaine d'Alsace et elle est limitée :

- A l'Ouest par les collines sous vosgiennes,
- Au Nord par la vallée de la Bruche,
- A l'Est par la plaine du Rhin,
- Au Sud par la route nationale 83 d'Erstein à Sélestat.

Elle représente une surface d'environ 50 000 ha. Cette région à la morphologie complexe peut être découpée en plusieurs zones : le horst de Griesheim, la terrasse de Bischoffsheim (ou de Niedernai), le Ried ou Bruch de l'Andlau, la vallée de la basse Bruche, la terrasse d'Erstein et la terrasse de Valff (Illustration 28).

LE HORST DE GRIESHEIM

La terrasse Ouest-Est située au Sud de la Bruche, en forme d'éperon vers l'Est, est connue dans la littérature sous le nom de Horst de Griesheim. Elle est recouverte de loess masquant les sables rouges des alluvions vosgiennes ainsi que les marnes oligocènes du dôme de Blaesheim. Le loess présente un paléosol (loess-lehm) très marqué, auquel sont associées de grosses poupées pouvant atteindre 40 à 50 cm de long (*cf.* Illustration 11).

LA TERRASSE DE BISCHOFFSHEIM ET LA NAPPE PERCHEE D'OBERNAI

Entre les vallées creusées par la Bruche au Nord et l'Ehn au Sud subsistent des hautes terrasses recouvertes de loess anciens et récents : le "Horst" de Griesheim et la terrasse de Bischoffsheim (aussi connue comme terrasse de Niedernai). La terrasse de Bischoffsheim est entaillée à l'Est suivant un contour semi-circulaire. La partie haute est constituée de loess anciens et récents reposant sur des alluvions vosgiennes, la partie basse de loess récents seulement reposant sur des alluvions rhénanes, elles-mêmes reposant sur des alluvions vosgiennes (Illustration 29).

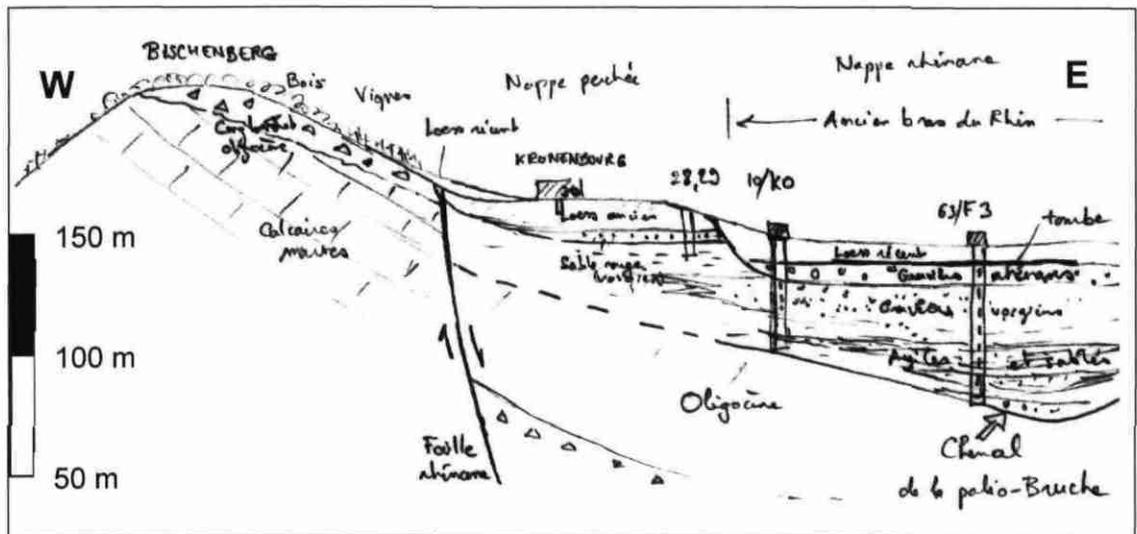


Illustration 29 : Coupe géologique Ouest-Est schématique au niveau de la brasserie Kronenbourg entre Bischoffsheim et Obernai (P. Elsass, 23/02/2003).

L'interprétation géologique est la suivante : les alluvions vosgiennes (il s'agit des alluvions de la paléo-Bruche qui s'écoulait vers le Sud-Est au Quaternaire ancien, cf. Simmler et Millot, 1967) recouvertes de loess anciens ont été légèrement soulevées par la tectonique, et ont été entaillées par une large boucle du Rhin qui a déposé des alluvions rhénanes (Illustration 30). Ce bras du Rhin s'est envasé, ce dont témoigne la présence d'une épaisse couche de limons tourbeux au sommet des alluvions, avant d'être recouvert par les loess récents, probablement au cours de la dernière glaciation (anciennement dénommée Würm, il y a environ 20 000 ans).

Du point de vue hydrogéologique, une étude piézométrique fine a été menée dans le cadre de la BRAR (Speisser, 2004). Elle a montré que la haute terrasse entre Bischoffsheim et Obernai était le siège d'une nappe perchée dont le niveau piézométrique est situé vers 170-172 m d'altitude (Illustration 30). Cette nappe perchée se déverse latéralement dans la nappe principale entre Griesheim (dans les alluvions vosgiennes) et Meistratzheim (dans les alluvions rhénanes).

On notera par ailleurs que la vallée de l'Ehn à Obernai est comblée d'alluvions qui recèlent une nappe d'accompagnement de ce cours d'eau, se déversant dans la nappe de la terrasse, 10 mètres plus bas. De même le vallon de Rosheim est comblé d'alluvions argileuses à niveaux de graviers recélant une nappe perchée une dizaine de mètres au dessus de la nappe de l'aquifère principal présente à Griesheim.

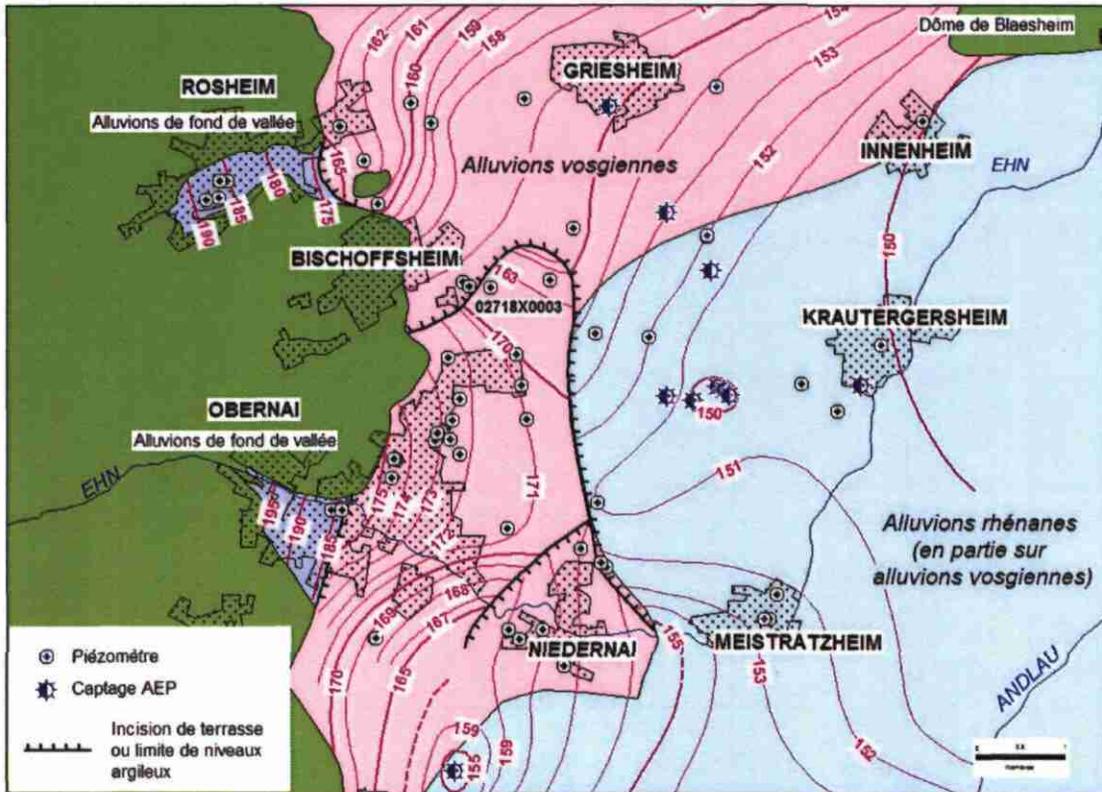


Illustration 30 : Carte piézométrique en basses eaux de la terrasse de Bischoffsheim

LE RIED OU BRUCH DE L'ANDLAU

A l'Ouest de l'III, il existe un Ried bien particulier: le Bruch de l'Andlau. Adossé en amont au cône du Giessen, barré en aval par le cône de la Bruche, le Bruch de l'Andlau est traversé par l'Andlau et son affluent le Dachsbach qui proviennent du massif des Vosges. Dans la partie nord, il est longé par l'Erguelsenbach, cours d'eau phréatique qui prend naissance au coeur du Bruch (Meistratzheim). Le Bruch est alimenté par la nappe phréatique et par les rivières vosgiennes. Il subit au cours de l'année de fortes oscillations selon les saisons : inondations hivernales et printanières et abaissements pouvant aller jusqu'à 1 m en été.

Le Bruch de l'Andlau est une zone d'affaissement postérieure à la fin de l'époque des glaciations du Würm. Au vu de la forme du Bruch de l'Andlau, on pense qu'il résulterait d'une ouverture en *pull-apart* (ou en transtension) d'une faille décrochante le long du rift rhénan, orientée selon une direction de 30 à 40° par rapport au Nord (Illustration 28). Mais cette hypothèse mériterait d'être approfondie. Suite à cet affaissement, le Bruch est devenu un véritable « piège à sédiments » déposés par le Rhin dans un premier temps, puis par les rivières vosgiennes le traversant (Andlau, Scheer, Ehn, Dachsbach, ...), ou issus du colluvionnement des terrasses bordant la dépression.

Ce Ried est influencé au Sud par des épandages siliceux vosgiens, au Nord par des épandages loessiques ou marneux venant du Gloeckelsberg. La présence de ce Ried s'explique par le fait que l'Ehn et l'Andlau avaient une activité érosive capable d'évacuer au fur et à mesure les sédiments fluviaux et éoliens de la marge de la levée rhénane. C'est pourquoi il est composé de nombreuses formations superficielles telles que les loëss remaniés par ruissellement et colluvionnement, les sables, les tourbes, le tout recouvert par une fine couche de limons de débordement. Ainsi, le Nord du Bruch présente un faciès limoneux plutôt calcaire dû à la prépondérance du colluvionnement, alors qu'au Sud, l'influence des rivières vosgiennes crée une partie plutôt sableuse acide. La complexité du substrat géologique du Bruch n'apparaît que partiellement sur la restitution de la carte des formations superficielles (annexe 3).

Les loëss remaniés par ruissellement et colluvionnement tapissent les vallées sèches périglaciaires du Horst de Griesheim, de la terrasse de Bischoffsheim-Niedernai et certains secteurs de la bordure Nord-Ouest du Bruch de l'Andlau. Ce remaniement se poursuit encore actuellement. L'épaisseur des loëss ruisselés est très variable. Les limons de débordement remaniant du loëss dans le Bruch de l'Andlau sont des alluvions récentes remaniant un matériel loessique plus ancien. Les dépôts loessiques sont souvent hydromorphes. Les colluvions loessiques n'ont pas été décalcifiées, même en surface, et les sables rhénans micacés sous-jacents ont également conservé leur fraction calcaire. Ils sont baignés par une nappe aquifère temporaire qui conditionne la formation d'un horizon de pseudogley (horizon gris, réducteur, à taches ocre), à faible profondeur (20 à 50 cm).

Dans les zones humides du Bruch de l'Andlau, les tourbes ou sédiments organiques se sont mis en place dans les zones basses mal drainées, correspondant à d'anciens chenaux divagants, à des bras morts ou des cuvettes de décantation. Les tourbes noires (d'où le nom de « Ried noir ») sont d'épaisseur très variable, de 0,30 à 1,5 mètres. Cela dépend de la profondeur des bras morts ou des cuvettes où ils se sont accumulés. Les secteurs les plus caractéristiques se trouvent au Nord-Est de Krautergersheim, entre Meistratzheim et Hindisheim, et à l'Ouest de Westhouse. Ces tourbes recouvrent des sables argileux assez grossiers, d'origine vosgienne, avec des passées graveleuses. Ces sables sont hydromorphes (faciès gley).

Les alluvions sableuses d'origine vosgienne étalées dans le Bruch ont été transportées par les rivières vosgiennes, puis déposées sur les formations plus anciennes de l'Andlau. Ces formations d'épaisseur et d'importance très variable se présentent comme d'anciens bancs sableux déposés entre des chenaux divagants. Ils dominent topographiquement les zones tourbeuses et peuvent apparaître comme d'anciennes levées. Leur très faible épaisseur, 1 mètre au maximum, explique leur étendue réduite sur la carte. On les trouve essentiellement dans le Bruch de Hindisheim, Krautergersheim, Meistratzheim et Niedernai.

Le Bruch est très sensible aux phénomènes d'hydromorphie du fait de sa position basse et très plate dans la topographie. L'altitude varie peu, elle est comprise entre 157 m au sud (RD 206) et 152 m au Nord (RD 207). L'hydromorphie est influencée par la présence de la nappe phréatique. Dans les dépressions, la nappe remonte dans le sol par capillarité et influence sa composition par les battements qu'elle effectue (Ried

noir). Le Ried forme ainsi une couverture peu perméable au-dessus de l'aquifère rhénan, le mettant parfois en charge localement. Sur les levées, les inondations sont rares voire inexistantes (Ried brun).



Illustration 31: Courlis cendré (photo LPO Alsace).

L'occupation du sol est caractérisée par des prairies de fauche plus ou moins humides (grande richesse floristique), alternant avec des cultures et ponctuées de bois, bosquets ou haies. Tout comme le Ried de l'Ill, le Bruch de l'Andlau a eu à subir les effets de campagnes d'assèchement dès le 17ème siècle ainsi que d'aménagements hydrauliques touchant les rivières vosgiennes l'alimentant, et malheureusement la culture du maïs prend de plus en plus le pas sur les prés. Cette zone présente une grande richesse écologique. elle constitue par exemple une importante zone de reproduction du courlis cendré (Illustration 31).

LA VALLEE DE LA BASSE BRUCHE

Dans la basse vallée de la Bruche, dont les alluvions modernes s'étendent sur une largeur de 4 à 5 km, on observe trois types de dépôts de ce cours d'eau disposés en terrasses. On distingue du Nord au Sud : les dépôts silteux récents (lit actuel de la Bruche), les alluvions sableuses anciennes puis les graviers anciens. D'après la disposition des alluvions de la Bruche, on remarque que celle-ci a migré vers le Nord au cours de son évolution, ce qu'elle continue à faire aujourd'hui.

Les graviers de la Bruche sont formés principalement de débris de granite et de porphyre du socle du Massif vosgien, c'est-à-dire des roches qui se rencontrent dans la haute vallée de la Bruche, avant la couverture de grès du Trias.

LA TERRASSE D'ERSTEIN

Au Sud – Est, les loëss de la terrasse d'Erstein sont partiellement décalcifiés en surface (lehm). Les loëss sont épais de 1,5 à 5 mètres, et recèlent parfois un paléosol peu marqué. Ils comprennent une fraction calcaire notable, on observe des "pseudomyceliums" et/ou de petites "poupées" de 1 à 2 cm de diamètre, atteignant localement 5 cm, fréquentes à 1 mètre de profondeur environ. La base des loëss contient des petits galets, vraisemblablement remontés des alluvions rhénanes sous-jacentes par bioturbation.

LA TERRASSE DE VALFF

Au Sud – Ouest, les loëss de la terrasse de Valff ont une épaisseur de 1,2 à 2,5 mètres et présentent parfois des intercalations de lits sableux. Le contact entre les loëss et ces intercalations présente fréquemment des figures de cryoturbation. Les loëss reposent sur des sables et graviers à nombreux éléments granitiques. Il faut noter que ces loëss marquent la limite de répartition des alluvions vosgiennes.

4.3.5. La région "Plaine centre Alsace"

Cette petite région naturelle représentée en annexe 4 correspond à la partie centrale de la plaine d'Alsace et elle est limitée (Illustration 32) :

- A l'Ouest par la route nationale 83,
- Au Nord par la ville d'Erstein,
- A l'Est par la plaine du Rhin,
- Au Sud par la ville de Colmar.

La petite région naturelle "Plaine centre Alsace" représente une surface d'environ 55 000 ha et se situe dans l'aire d'extension de la nappe alluviale du Rhin et de ses affluents. Les formations présentes sont composées de matériaux alluvionnaires déposés par l'Ill, les rivières vosgiennes et le Rhin, les loëss ne sont présents qu'en bordure, sur la basse terrasse (annexe 4). On distingue d'Ouest en Est (Illustration 32) :

- les alluvions vosgiennes des cônes de déjection vosgiens entre le piémont et la dépression de l'Ill ;
- la dépression occupée par les épandages de limons de l'Ill qui masquent le contact entre les matériaux vosgiens et rhénans ;
- la basse terrasse constituée de graviers anciens du Rhin où coule la Blind ;
- le Grand Ried ello-rhénan de Marckolsheim à Erstein qui correspond au maximum d'extension de l'ancien lit majeur du Rhin, et où prennent naissance de nombreux cours d'eau phréatiques.

Les alluvions du Rhin sont recouvertes par les alluvions limoneuses plus récentes de l'Ill et les alluvions sableuses du Giessen et de la Fecht.

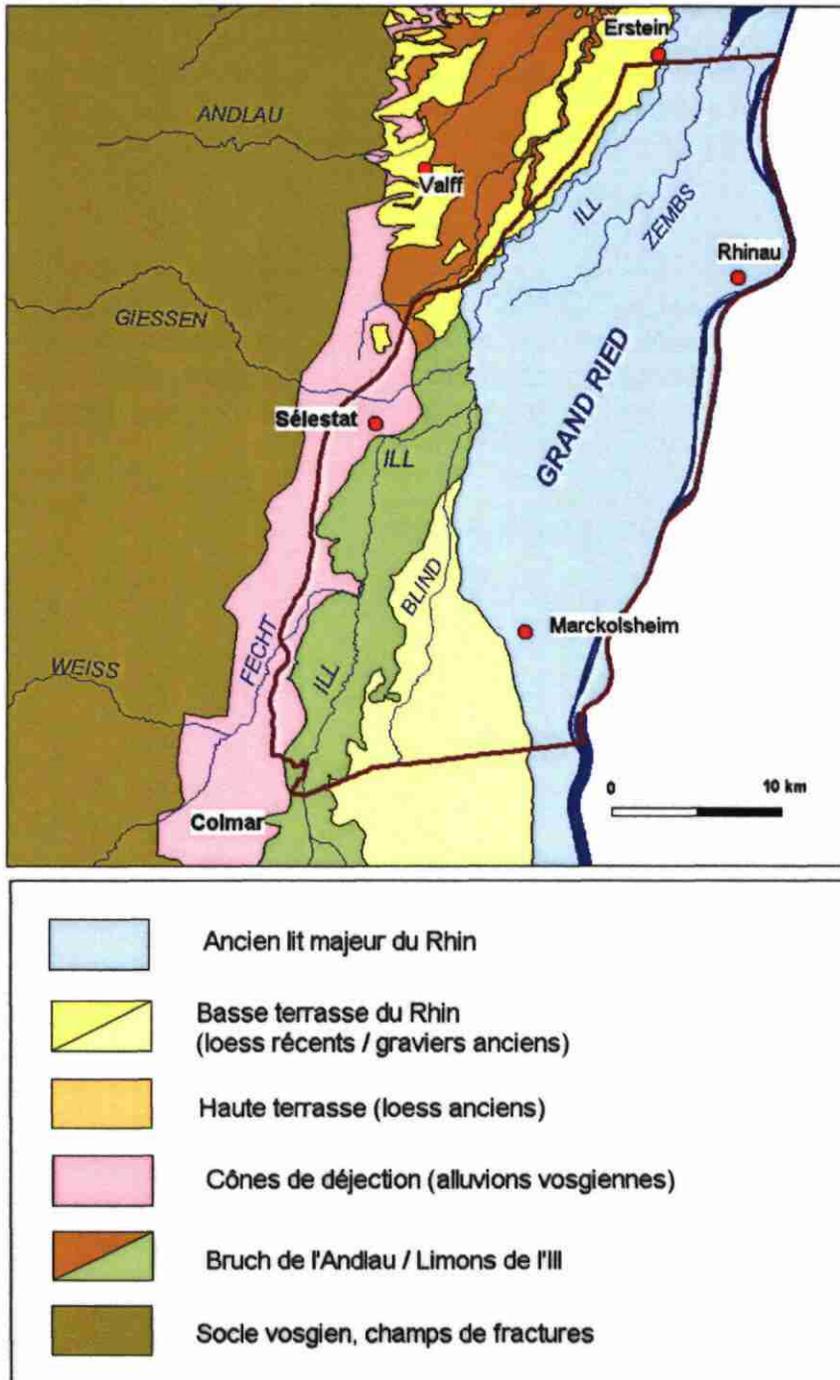


Illustration 32 : Carte morphologique de la région "Plaine Centre Alsace"

Les paysages de la plaine sont marqués par des zones de divagation des rivières (anciens chenaux d'inondation) avec une répartition aléatoire des matériaux (passées alternativement argileuses, sableuses et caillouteuses)

5. Mise en forme numérique

Une fois la synthèse et la cartographie des formations superficielles de la Plaine rhénane achevées, commence la dernière phase : la cartographie numérique. Elle comporte trois couches numériques correspondant aux remblais, à la couverture de l'aquifère et à l'aquifère lui-même. Ces couches sont renseignées par divers attributs (épaisseur, nature...).

5.1. FORMATS ET OUTILS SIG

L'utilisation des Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) facilite l'organisation du stockage des données localisées sur un référentiel cartographique précis et simplifie l'exploitation cartographique de celles-ci. Le SIG permet de gérer, compiler, assembler, croiser et analyser des données hétérogènes et spatialement distinctes (données thématiques avec des données génériques vecteurs ou *raster* par exemple).

Les données vecteurs sont des informations regroupées sous la forme de coordonnées (x, y). Les objets de type ponctuel sont dans ce cas représentés par un simple point. Les objets linéaires (routes, fleuves...) sont représentés par une succession de coordonnées (x, y). Les objets polygonaux (territoire géographique, parcelle...) sont, quant à eux, représentés par une succession de coordonnées délimitant une surface fermée. Le modèle vectoriel est particulièrement utilisé pour représenter des données discrètes. Les données *raster* sont constituées d'une matrice de points pouvant tous être différents les uns des autres. Ce dernier format s'adapte parfaitement à la représentation de données variables continues telles que la nature d'un sol...

Le processus de fabrication d'une carte avec un SIG est beaucoup plus souple qu'une production manuelle ou automatisée. Il débute par la création de la base de données. Les informations existant sur support papier sont digitalisées et toutes les autres sources informatiques intégrées au sein du SIG. L'information contenue dans le SIG est continue sur l'ensemble du territoire et totalement indépendante des problèmes d'échelle. Les cartes issues du SIG sont réalisées en fonction d'une localisation choisie, d'une échelle définie tout en faisant apparaître les informations souhaitées. La mise en évidence de certains phénomènes, la comparaison entre différentes époques, la simulation d'hypothèses sont quelques uns des avantages importants des cartes produites par un SIG.

Le projet de cartographie des formations superficielles de la plaine d'Alsace repose sur une grande quantité de données qu'il convient de traiter sous forme numérique pour obtenir des représentations exploitables : le SIG est un outil indispensable pour ce programme.

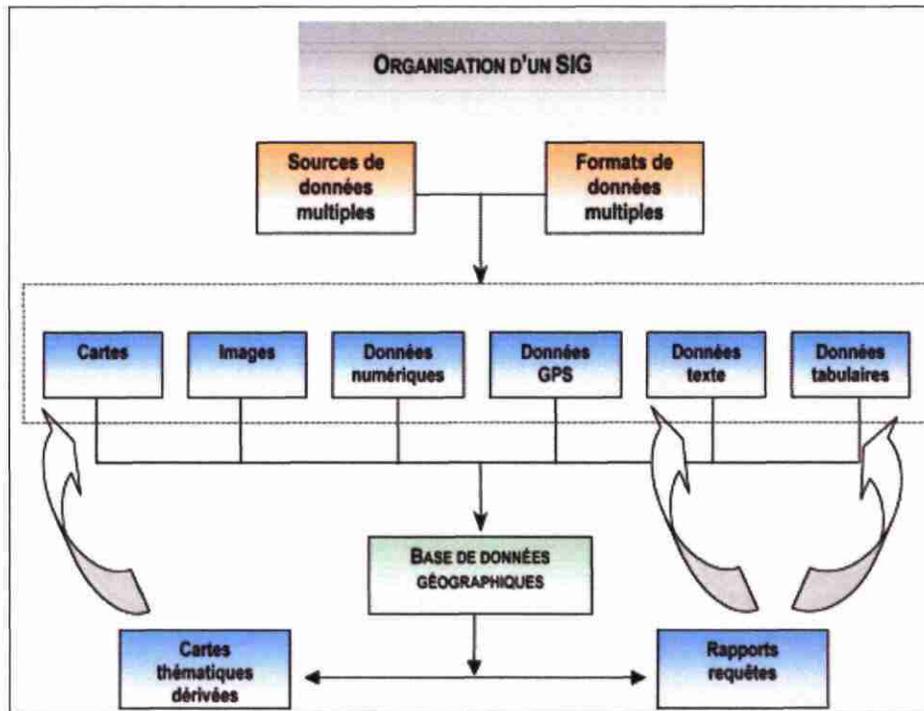


Illustration 33 : Organisation d'un SIG

Un système informatisé d'acquisition, de gestion, d'analyse et de représentation de données à références spatiales (géoréférencées).

5.2. CARTES VECTEURS

Le livrable de la cartographie est un modèle multicouche de la carte réalisé à l'aide du logiciel MapInfo®. La carte numérique est constituée d'un empilement de fichiers géographiques représentant les couches de terrain ou les formations continues ou non et d'épaisseur variable. Elle comporte trois couches numériques (Illustration 34) : remblais, couverture de l'aquifère et aquifère lui-même. Ces couches sont renseignées par divers attributs.

La couche "Remblais" présente des propriétés hydrodynamiques difficiles à définir, et offrant peu de protection à la nappe. C'est la première couche à créer. Elle se déduit de la carte 2D par simple extraction puis on y superpose les points d'information correspondants extraits de BSS et de l'étude de terrain.

La structure de la couche remblais (Couche 0) est la suivante (Illustration 35) :

- Code
- Épaisseur minimale
- Épaisseur maximale
- Épaisseur moyenne

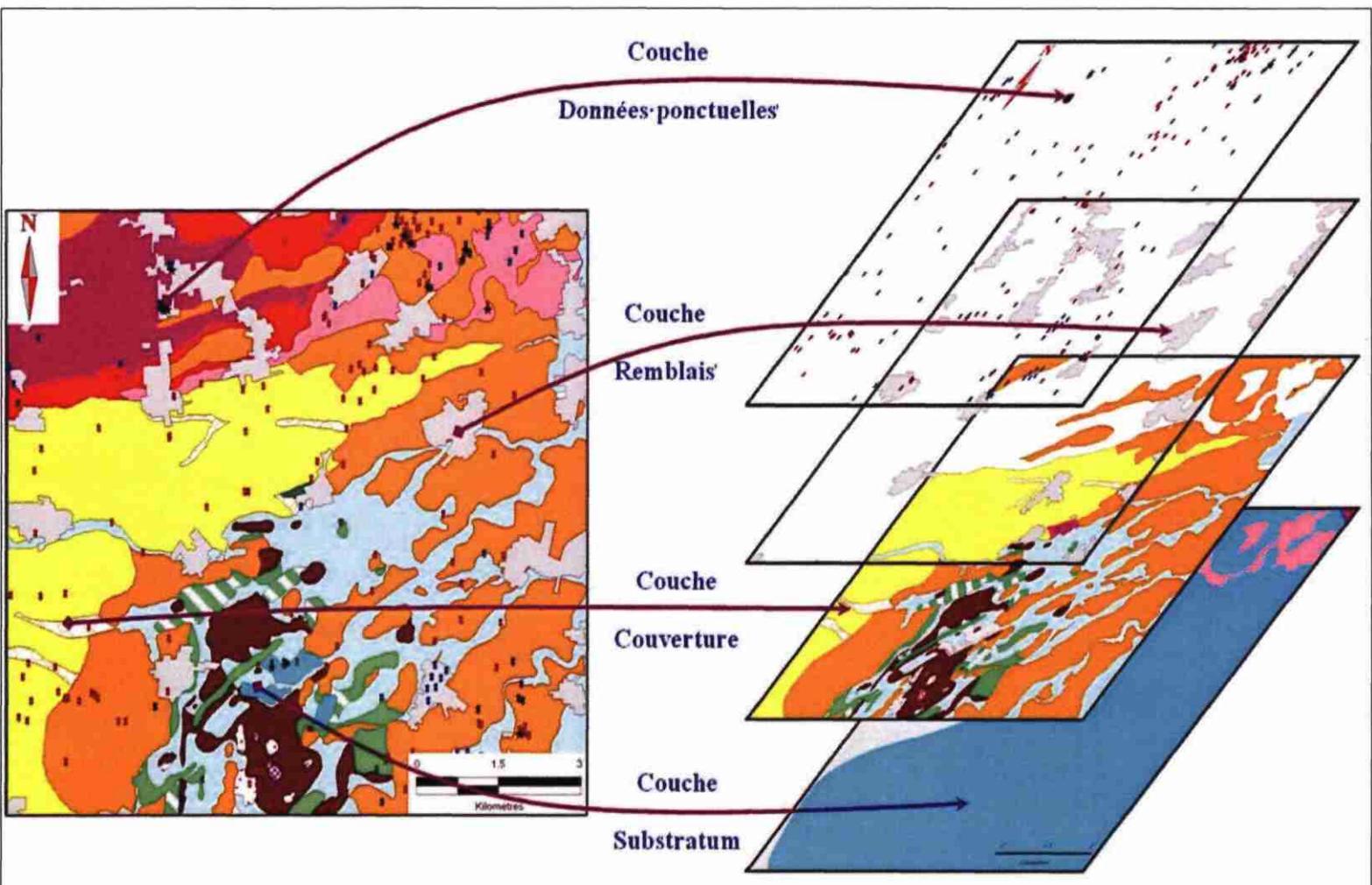


Illustration 34 : Modèle multicouche

Le report des points d'information sur les remblais présente cependant deux difficultés principales. Certains points mentionnant des remblais sont cartographiés en dehors de polygones cartographiés en remblais : Ces points isolés peuvent être ignorés. Toutefois il est nécessaire de retourner sur le terrain pour faire un contrôle. C'est le cas des décharges (Illustration 35) ou des carrières. Les remblais posent un autre problème : ils peuvent être constitués de loëss, de sables rouges, de graviers rhénans (souvent dits "tout-venant"), et le fait qu'il s'agit de remblais n'est pas toujours explicité sur les logs de sondage ; une interprétation du géologue est dans ce cas indispensable.

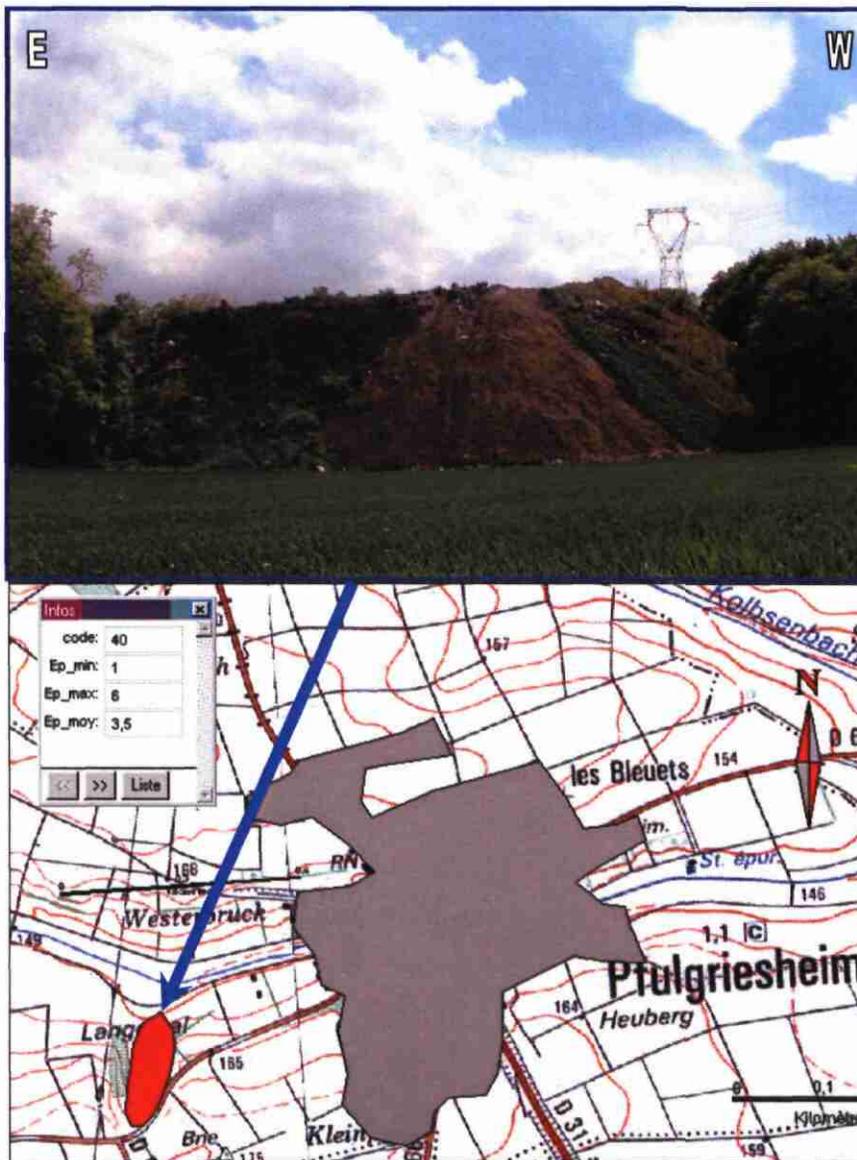


Illustration 35 : Décharge sur la commune de Pfulgriesheim. Elle a été cartographiée grâce au levé de terrain.

On notera que la couche "Remblais" a été omise des restituions cartographiques en annexe pour une meilleure lisibilité.

La couche "Couverture" regroupe les formations superficielles présentant une protection pour la nappe : loess, limons, tourbes, etc. (cf. Illustration 37) Cette couche est principalement déduite des observations de terrain car c'est la plus accessible. En fonction des résultats de sondages de terrain, de l'analyse du Modèle numérique de terrain (MNT), des photos aériennes, on détermine des surfaces ayant les mêmes propriétés. Une limite est tracée dès qu'une surface se modifie notablement, ce qui définit différentes plages. Ces plages sont ensuite testées à divers endroits pour vérification. Il ne faut pas oublier que les limites que l'on trace sur la carte ne sont souvent pas aussi nettes dans la nature, où souvent le couvert végétal, les difficultés d'accès, les bâtiments ou les zones agricoles nous empêchent de les voir nettement. Une fois les contours dessinés, plusieurs champs d'information ont été créés pour les couches cartographiques, afin de disposer du maximum de données.

La structure de la couche Couverture (Couche 1) est la suivante (Illustration 36) :

- Formation,
- Code BRGM,
- Nombre de points,
- Épaisseur minimale,
- Épaisseur maximale,
- Épaisseur moyenne,
- Granulométrie minimale,
- Granulométrie maximale,
- Encroûtement,
- Accumulation,
- Hydromorphie,
- Commentaire.

Les cartes des formations de couverture de l'aquifère permettent de créer des cartes dérivées de temps de transfert des polluants dans le cadre d'études de vulnérabilité de la nappe.

La couche "Substrat" représente les premières formations de l'aquifère rencontrées, elles représenteront les terrains de la zone non saturée. Le substrat est très peu visible de la surface, c'est pourquoi cette couche a été renseignée à l'aide des forages de la Banque de Données du sous sol (BSS).

La structure de la couche Substrat (Couche 2) est la suivante (Illustration 36) :

- Formation,
- Code BRGM,
- Nombre de points,
- Profondeur moyenne,
- Granulométrie minimale,
- Granulométrie maximale,
- Commentaire.

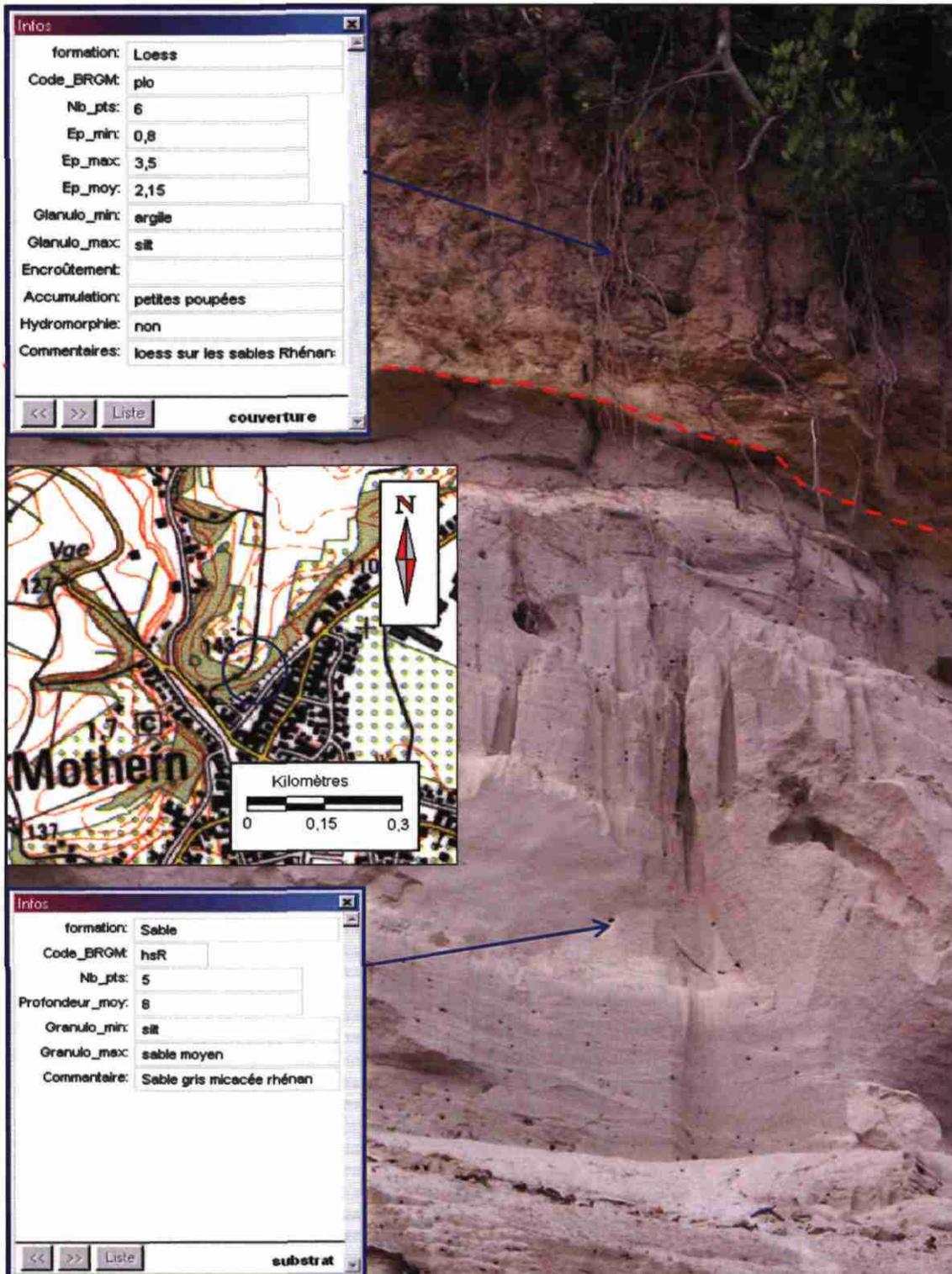


Illustration 36 : Observation des couches Couverture et de Substrat sur une falaise au Nord de Mothern.

5.3. ATTRIBUTS DES COUCHES SIG

Le renseignement des champs d'information s'est fait par plusieurs analyses spatiales au sein du SIG, grâce aux données ponctuelles disponibles. Pour chaque polygone, les variables correspondant à ces champs ont été extraites des données ponctuelles comprises dans le polygone. Pour les polygones ne comprenant pas de donnée ponctuelle, l'analyse spatiale a porté sur les données les plus proches dans le même secteur morphologique (basse et moyenne terrasses rhénanes, plaine de l'Ill, Hardt, Ried).

Les données disponibles pour réaliser cette cartographie étaient essentiellement les coupes de forages stockées dans la Banque du Sous-sol (BSS, Illustration 37). Elles ont été ajoutées aux données collectées (données pédologiques) ou acquises pendant le projet (observations de terrain, cf. Illustration 36). Les données ont été exploitées en sélectionnant les passes de remblais, les passes de couches de couverture et la première passe des terrains de l'aquifère, à l'aide d'un logiciel spécifique créé pour le codage des passes dans le cadre de la BRAR et complété par une fonction adéquate (Illustration 37).

Ces passes triées par nature (remblais, couverture, substrat) ont ensuite été importées dans le logiciel de cartographie MapInfo®. Puis, les valeurs minimum, maximum et les moyenne des épaisseurs ainsi que le nombre de points de données ont été calculées et affectées aux champs. Pour les champs « Encroûtement », « Accumulation » et « Hydromorphie », ils ont été signalés par le code correspondant au phénomène, lorsqu'un ou plusieurs points compris dans le polygone présentaient les faciès correspondants.

**Banque Régionale de l'Aquifère Rhénan
Programme 2003-2006**

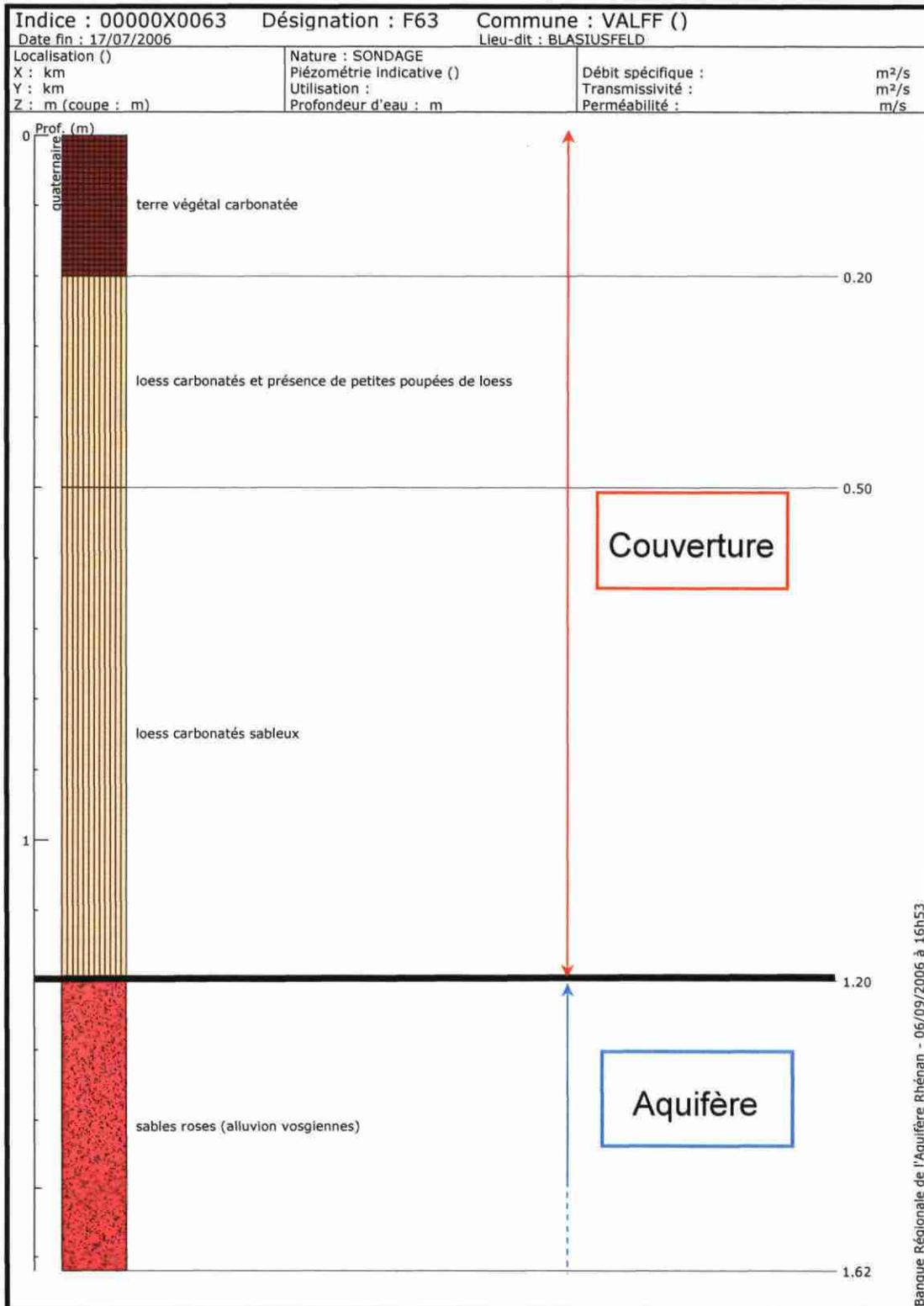


Illustration 37 : Exemple de sondage

5.4. PRECISION

Il faut garder à l'esprit qu'une cartographie n'est pas un document objectif : le seul document objectif est la minute qui représente les points d'observation discontinus. Une carte est le résultat d'un mélange entre des observations et des interprétations à une date donnée, et présente donc un degré de précision limité.

Dans le cas d'une cartographie des formations superficielles (mais aussi pour tous types de cartes), on peut en donner de nombreuses raisons :

- Les contours correspondent en général à des interpolations entre points d'observation. Les limites que l'on trace sur la carte ne sont souvent pas aussi nettes dans la nature, où souvent le couvert végétal, les difficultés d'accès, les bâtiments ou les zones agricoles nous empêchent de les voir nettement : la position du contact entre les deux formations dépend de l'appréciation du géologue.
- L'échelle des levés pose la problématique de la gestion des changements d'échelle, de la précision des données, de la validité des modèles de croisement de données dans une analyse environnementale. Par exemple le passage d'une carte réalisée à 1/25 000 vers l'échelle du cadastre (1/500 à 1/1000) sera assez imprécis mais donnera une indication sur les formations présentes.
- Une autre source d'incertitude est liée au manque de données préexistantes sous format numérique aux échelles appropriées, et au temps et aux coûts requis pour mettre en place le système, construire les bases de données et mener les analyses.
- Par ailleurs, il n'est pas possible au géologue de visiter un secteur de façon complète, certains affleurements importants peuvent donc lui échapper : de nouveaux affleurements peuvent apparaître à l'occasion de travaux, de nouveaux sondages peuvent être effectués, apportant des informations conduisant parfois à de nouvelles interprétations à l'échelle régionale.
- Dans les zones complexes, les hypothèses de travail du géologue peuvent influencer son lever principalement quand l'étude de terrain offre une grande quantité de données. Dans ce cas seules certaines sont significatives dans le cadre des hypothèses posées.
- Enfin il faut considérer une carte comme une clef pour l'interprétation quelle que soit l'échelle utilisée. L'interprétation locale doit être confirmée par d'autres éléments tels que la granulométrie, les essais géotechniques...

Notons que la reconnaissance des formations superficielles est incomplète et que leurs propriétés physicochimiques sont encore assez mal connues. Le développement de programmes de recherche scientifique met en évidence leur rôle sur l'environnement et leur importance dans le domaine appliqué (génie civil, projet d'urbanisme, agronomie). Une meilleure connaissance de ces formations superficielles pourrait aboutir à de

nombreuses applications pratiques comme la prévention des pollutions car « on utilise mieux ce que l'on connaît ».

6. Perspectives de la carte numérique.

L'identification et la compréhension des formations superficielles, de même que la modélisation de leur géométrie, sont essentielles dans la plupart des opérations en rapport avec l'environnement et l'aménagement, les eaux souterraines et de surface, les risques naturels et le génie civil... En effet elles représentent le support de toute l'activité du vivant, le lieu des interactions géosphère – biosphère – hydrosphère – atmosphère et enfin c'est la première couche rencontrée lors de toute opération d'aménagement (Illustration 38).

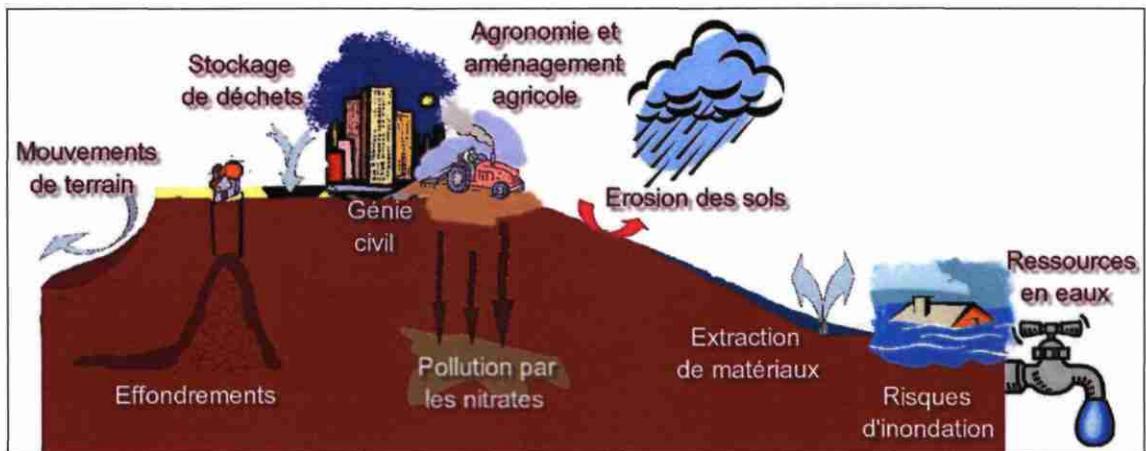


Illustration 38 : Activités humaines et les formations superficielles.

6.1. AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET GEOTECHNIQUE

Les formations superficielles constituent la première source de matériaux utilisés pour les besoins de l'aménagement et les grands travaux. La plupart des projets d'aménagement et les constructions modestes s'appuient sur les formations superficielles et non sur le substrat géologique. Sur de nombreux ouvrages, des dommages visiblement liés au sol peuvent naître avec le temps, souvent au-delà des dix ans que couvrent les assurances. Les désordres apparaissent parfois brutalement et ne cessent alors de s'amplifier. Il existe en effet des phénomènes tels que le retrait-gonflement affectant les sols d'assise qui peuvent ne pas avoir été pris en compte lors de la construction et qui ne relèvent pas des principes classiques de la géotechnique comme la portance, la cohésion, etc. Une démarche de raisonnement intégré sur les problèmes de couverture s'impose donc afin de caractériser les processus qui conduisent à ces constats. La consultation de cartes des formations superficielles permet une meilleure prise en compte de ce type de phénomène.

En Alsace, les loëss sont meubles et leur compacité est variable, généralement plus forte quand ils sont argileux et plus faible quand la proportion en silts grossiers et sablons s'accroît. Formation peu perméable, il peut en surface être décalcifié et acquérir une bonne perméabilité. Mais la proportion de sable présent dans le loess a de l'influence sur le degré de perméabilité du sol et par la suite sur la végétation de la surface. A cette influence se joint celle de l'épaisseur et de la composition du limon superficiel. En règle générale, les loëss se comportent comme des limons argileux. Un talus ou une petite falaise peut subsister plusieurs années (Illustration 39), mais s'ils sont proches de la verticale, ils peuvent s'effondrer par écaillage progressif (Illustration 40). On a donc intérêt pour éviter cette évolution à taluter artificiellement les abrupts et à les protéger par des plantations.

En effet, les loëss sont sensibles au phénomène de thixotropie et se disloquent fréquemment en glissements de terrain sur la moindre pente. Quand ils sont baignés d'eau, ils n'ont aucune tenue. On notera que ce type de désordre est fréquent lorsque le loëss est peu épais sur des marnes (du Lias en Alsace par exemple). Quand ils sont hors d'eau, les loëss, par leur homogénéité et leur extraction aisée ne posent aucun problème pour fonder des constructions de faible portance. On veillera donc à ne pas laisser les talus exposés aux intempéries (Illustration 41) et à protéger le sol des animaux fouisseurs qui sont friands de ce type de sol (Illustration 39).

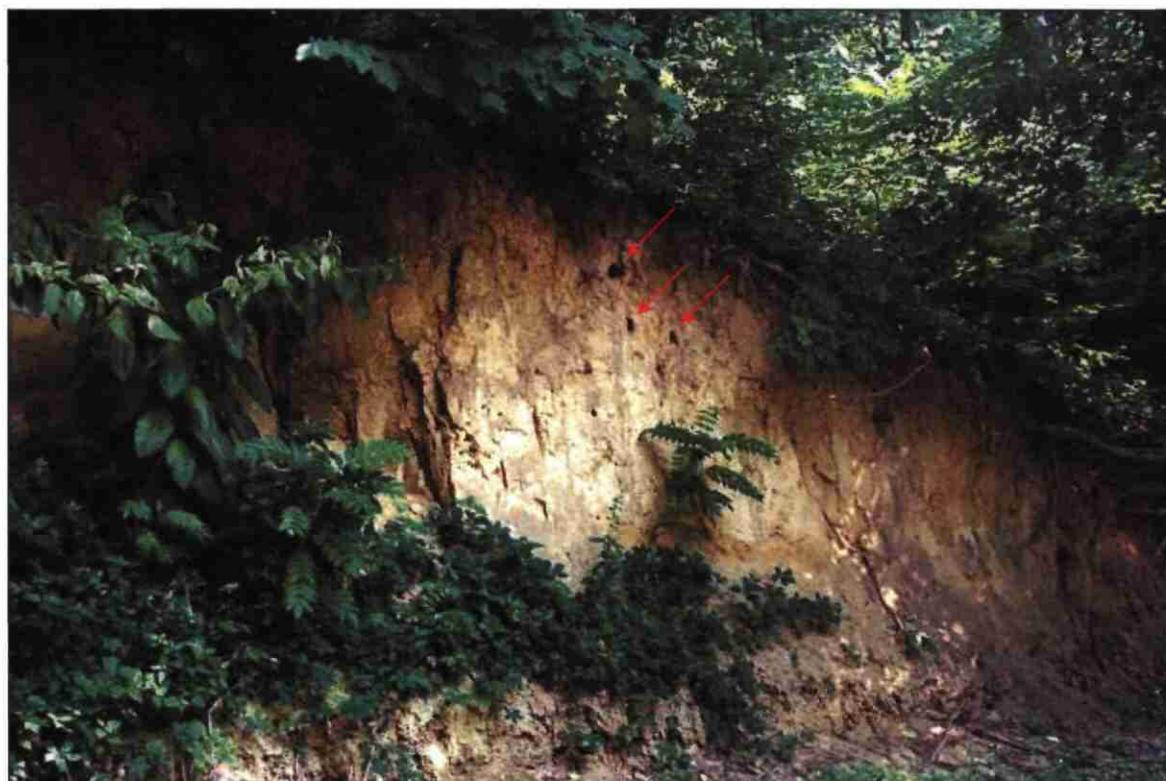


Illustration 39 : Falaise de loëss, on peut noter la présence de terriers où nichent certains oiseaux tels que les hirondelles (Wintzenbach, 67).



Illustration 40 : Ecaillage d'une falaise de loess, au droit de l'un des bâtiments du lotissement « le Bel Arbor » à Achenheim (67) en 2003¹.

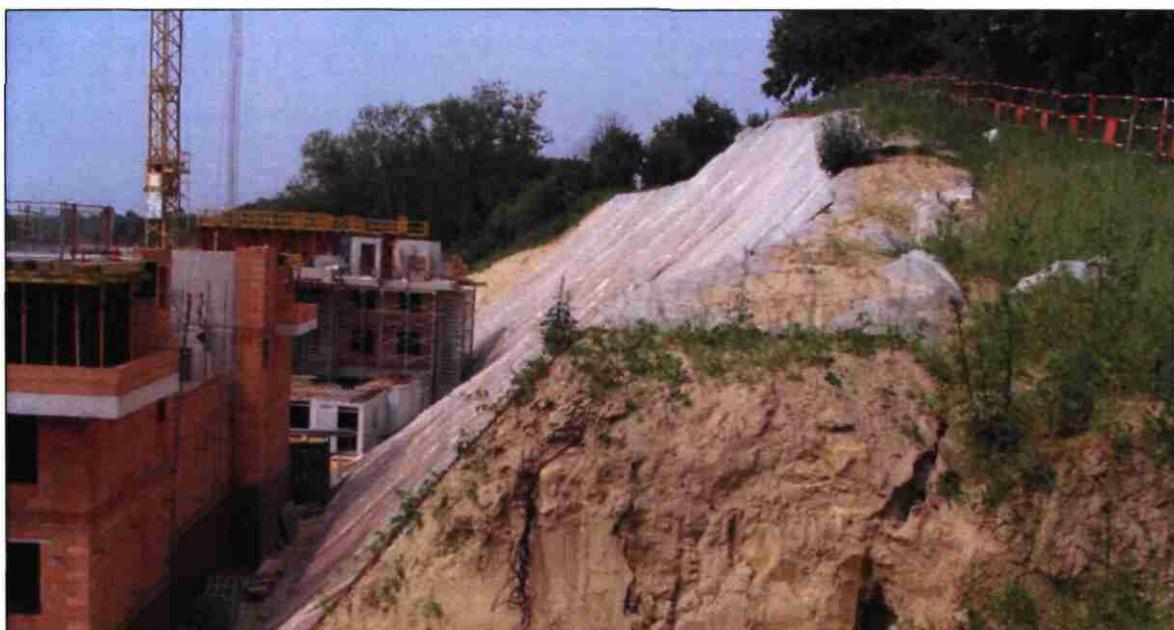


Illustration 41 : Exemple de protection d'une falaise de loess sur un chantier à Mothern (67).

Anciennement des caves ont été creusées dans les loess, en sous-sol ou à flanc de coteau. Ces caves sont particulièrement nombreuses dans les quartiers des brasseries des faubourgs Ouest de Strasbourg (Koenigshoffen, Cronenbourg, Schiltigheim). Elles sont installées sur la terrasse de Schiltigheim où de petits effondrements sont fréquents.

¹ Exemple tiré de Chabart et al. (2006)

Les désordres dus à la présence de ces ouvrages sont généralement liés :

- à des érosions souterraines dues à l'action de l'eau, provenant de fuites dans les canalisations d'eaux (d'assainissement ou pluviales) et des infiltrations dans les fissures naturelles ou les espaces entre le loëss et le parements des caves. La présence de racines traversant les voûtes des caves est également un facteur aggravant les effondrements (Illustration 42).
- À des remontées de vides dues à l'effondrement du toit des galeries non maçonnées (Illustration 42).

Les croisements de différentes cartes telles que les cartes des formations superficielles et les plans de galeries, permet d'éviter de construire sur des galeries ou bien de les prendre en compte lors de la construction des fondations.



Illustration 42 : Exemple de caves creusées dans le loëss avec éboulement de loëss en premier plan (remontée de vide) à Pfastatt (68).

6.2. HYDROGEOLOGIE

6.2.1. Aquifère

Situées à l'interface atmosphère - lithosphère, les formations superficielles sont alimentées en eau par les précipitations atmosphériques (neige, pluie, brouillard), qui s'accumulent dans les formations poreuses pour former les nappes d'eau souterraine.

Dans la plaine rhénane, les formations alluvionnaires forment un grand aquifère constituant l'un des plus grands réservoirs d'eau potable d'Europe. La nappe s'étend sur l'ensemble de la plaine alluviale du Fossé rhénan. Pour la partie alsacienne, elle couvre la plaine depuis la bordure des Vosges et du Sundgau jusqu'au Rhin, de Saint-

Louis à Lauterbourg. Dans la partie alsacienne, ce réservoir compte de l'ordre de 45 milliards de m³ d'eau pour une superficie de 2800 km². La faible profondeur de la nappe phréatique rend son exploitation aisée, ce qui est un avantage économique. Les eaux souterraines fournissent les trois quarts des besoins en eau potable de la population et plus de la moitié des besoins industriels en eau. L'irrigation agricole provient aussi en quasi totalité des eaux souterraines.

Dans le Bas Rhin, les alluvions de la plaine alsacienne sont constituées (Illustration 3) :

- Des alluvions rhénanes ;
- Des cônes de déjection des rivières vosgiennes ;
- Des alluvions pliocènes de la région de Haguenau.

Ce sont des alluvions sablo-graveleuses, avec quelques intercalations argileuses. Elles sont très perméables, surtout les alluvions rhénanes bien roulées et classées par le transport depuis les Alpes. L'eau de la nappe s'écoule vers le Nord et parallèlement au Rhin dans les dépôts de ce dernier à la vitesse de 1 à 2 mètres par jour avec une perméabilité de l'ordre de 10⁻³ à 10⁻² m/s. La nappe d'Alsace présente des isopièzes très régulières, parallèles entre elles et ce malgré l'épaisseur variable des alluvions. Cette épaisseur varie en effet de quelques mètres sur les bordures à 200-250 m au centre de la plaine avec une moyenne de 70 m. La profondeur du toit de la nappe est maximale au Sud vers Mulhouse et minimale dans le Ried où la nappe est sub-affleurante (1 mètre de profondeur). Le substratum est constitué par les marnes oligocènes au Sud et au Nord, à partir du seuil d'Erstein, par les formations sablo-argileuses du Quaternaire ancien - Pliocène final.

L'alimentation de la nappe se fait par l'infiltration :

- Des rivières et canaux de la plaine dans le Haut-Rhin, qui sont en partie alimentés par des prises sur le Rhin,
- Des rivières vosgiennes à leur débouché en plaine,
- Des pluies sur toute la surface à travers les limons et les plaquages de loess.

La recharge en eau de la nappe est donc dépendante des apports d'eau de pluie mais également des caractéristiques hydrogéologiques des formations superficielles traversées.

Globalement, il n'y a pas en Alsace de problèmes de quantité, mais l'augmentation des prélèvements facilite l'infiltration des rivières en étiage et donc la dégradation de la qualité si ces cours d'eau sont pollués. Le maintien des zones humides (Rieds) et des rivières phréatiques nécessite de limiter dans ces secteurs les pompages pour conserver une piézométrie proche du sol.

En 2003, 33 % de la surface de la nappe du Rhin supérieur présentait des eaux non potables du fait des activités humaines (Région Alsace, 2005). Ce pourcentage a augmenté au cours des dernières décennies du fait des pollutions diffuses par les phytosanitaires et les nitrates (provenant essentiellement de l'agriculture). Les autres pollutions sont essentiellement dues aux hydrocarbures et aux micropolluants organiques.

Le système hydrogéologique des formations superficielles de la nappe rhénane est donc complexe, mais essentiellement vulnérable du fait des fortes interactions entre les eaux souterraines et les eaux de surfaces.

6.2.2. Protection de l'aquifère

Sur l'ensemble de la plaine, la nappe n'est pourvue que très rarement et de façon discontinue de formations de couverture suffisamment imperméables pour constituer une bonne protection naturelle contre les pollutions de surface. Cette protection est formée principalement de dépôts de loëss et limon loessique assez épais sur le bord Ouest et de zones argileuses telles que les Rieds et les dépôts de décantation au cœur de la plaine. Ces formations sont peu étendues et peu épaisses. Les autres formations superficielles sont assez perméables et ne peuvent assurer une protection efficace.

Les loëss ne constituent pas un véritable écran protecteur vis à vis des infiltrations polluantes vers l'aquifère sous jacent. Ils ont une perméabilité de matrice fine poreuse. Les loëss fins peuvent conserver l'humidité plusieurs jours, voire plusieurs semaines après une pluie de plusieurs millimètres. La progression des infiltrations sera rapide dans les loëss riches en silts grossiers, plus lente dans les loëss fins et argileux où les propriétés absorbantes des smectites peuvent jouer un rôle d'étanchéité. Mais ce rôle est probablement limité puisque les smectites ne constituent le plus souvent guère plus de 5% du loëss.

Lorsque les loëss sont épais et recouvrent une formation de faible perméabilité telle que les marnes oligocènes ou un aquifère entièrement gorgé d'eau, leur partie inférieure peut être aquifère de façon pérenne. Dans les vallons, le drainage de cet aquifère est assuré par des sources assez diffuses et de faible débit donnant souvent naissance à des ruisseaux temporaires. On peut en observer sur les plateaux de loëss reposant sur des marnes au Nord de Haguenau. Cet aquifère présente peu d'intérêt pour l'alimentation en eau, mais doit être pris en compte en géotechnique, les loëss gorgés d'eau n'ayant aucune tenue.

D'après une étude réalisée sur les loëss de la terrasse d'Obernai (Richert, 2004), la présence de loëss épais est un facteur de retardement du transfert des polluants. La vitesse de transfert des nitrates est estimée par cette étude entre 20 et 50 cm par an.

Ce type d'étude des transferts peut être valorisé par l'exploitation de la cartographie de la couverture de l'aquifère. En effet la carte des formations de couverture de l'aquifère permet de créer des cartes de temps de transfert des polluants et d'en dériver des cartes de vulnérabilité de la nappe.

6.3. AGRICULTURE ET GESTION DE L'ENVIRONNEMENT

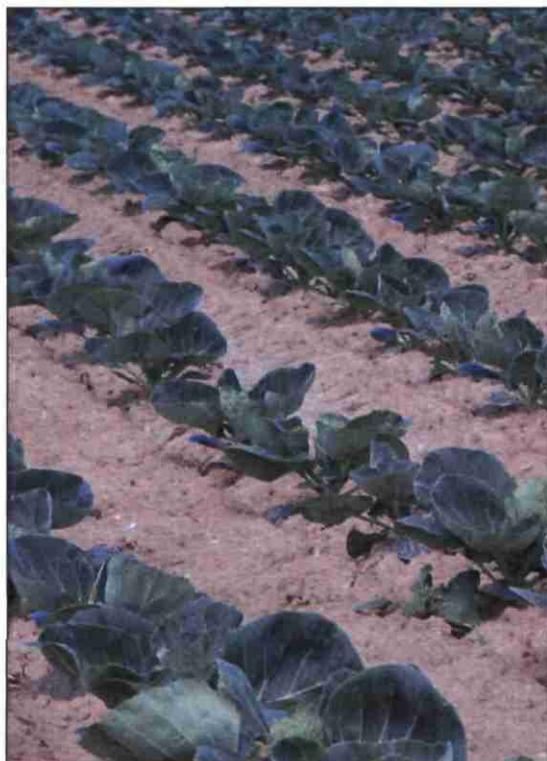
La diversité lithologique du substrat alsacien entraîne une hétérogénéité des sols du point de vue de leur structure mais aussi de leur fertilité chimique. C'est pourquoi il convient de faire un choix avisé des variétés de cultures à utiliser lors de la plantation.

Le SIG a ainsi un potentiel d'application dans le secteur agricole. Les exploitants agricoles ont besoin d'accéder à des données qui les aideront à gérer leurs exploitations et appuyer leurs prises de décisions. Les facteurs qui influencent la culture agricole peuvent être identifiés et cartographiés. Les agriculteurs disposent ainsi de données précises quant à l'occupation des sols et la superficie des parcelles cultivées ou en jachère.

Le recours à un SIG permet de cartographier les domaines agricoles et de prévoir précisément les quantités de semence ou de produits phytosanitaires à utiliser pour la saison en fonction du type de culture et de sol et ainsi réduire les coûts. Dans certaines juridictions, les agriculteurs sont tenus d'élaborer des plans de gestion des éléments nutritifs qui détaillent la façon dont ces substances sont appliquées sur une terre particulière.

Les loëss par exemple ont un potentiel agricole remarquable et constituent les meilleures terres de culture d'Alsace, en particulier le loëss supérieur, peu argileux et rarement hydromorphe. La rétention d'eau est bonne, plus faible dans les zones de loëss sableux ou plus riches en silts grossiers. Ils sont exploités selon une polyculture très diversifiée (céréales, houblon, tournesol, choux (Illustration 43), betteraves, tabac, arboriculture, etc.). Alors que les sables constituent des sols légers et profonds, faciles à travailler, ils présentent néanmoins un temps de ressuyage très rapide. Cependant ce sont de très bons sols pour des cultures particulières telles que les asperges (Illustration 44).

Dans un avenir proche, il sera utile de croiser les cartes numériques des formations superficielles avec les données de l'Association pour la Relance Agronomique en Alsace (ARAA : coupe de sols, granulométrie) afin de contribuer à une gestion plus adaptée de l'espace agricole. Les résultats cartographiques sont susceptibles de constituer des supports pour une meilleure prise en compte du fonctionnement du milieu dans le cas d'études de protection des eaux souterraines dans les secteurs les plus vulnérables.



*Illustration 43 : Culture de choux sur du loess
à Krautergersheim*

*Illustration 44 : Culture d'asperges sur du sable
à Hœrdt*

L'agroforesterie est aussi grande consommatrice de cartographie numérique permettant de cataloguer les parcelles, les essences présentes ainsi que de nombreux autres paramètres permettant une exploitation rationnelle des ressources.

6.4. EXPLOITATION DE MATERIAUX

Dans la vallée de la Bruche et le Nord de l'Alsace, les alluvions vosgiennes sont largement exploitées comme gisement de sables (pour remblai et maçonnerie). A l'Ouest de l'agglomération de Strasbourg, les sablières de Lingolsheim et Holtzheim sont particulièrement actives. Au Sud de l'Alsace, les alluvions vosgiennes sont principalement exploitées (tout-venant et roulé) dans les cônes de déjection du Quaternaire supérieur, en particulier dans la vallée de la Thur à Cernay. La qualité du matériau est néanmoins moins bonne que dans les gisements de graviers rhénans (plus de fines, variabilité pétrographique du matériau plus importante, moins de galets de grande dureté).

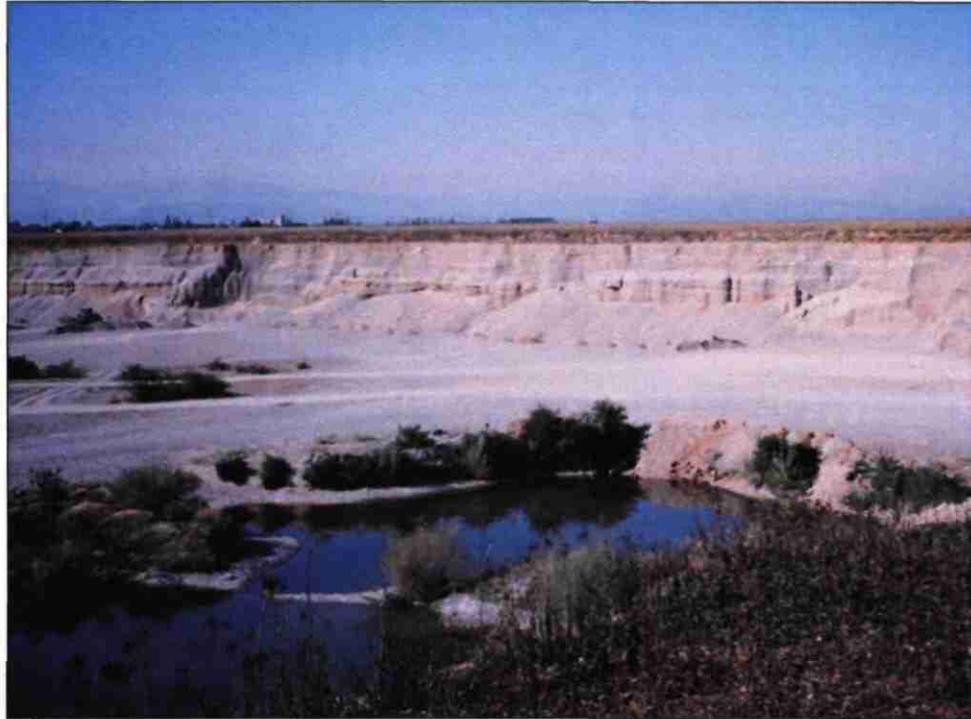


Illustration 45 : Gravière en exploitation (alluvions rhénanes)

Les alluvions rhénanes sont intensément exploitées (Illustration 45). Elles représentaient 13 % de la production française de granulats alluvionnaires en 1979, avec des réserves de 100 milliards de mètres cubes dans le Bas-Rhin, un peu moins dans le Haut-Rhin. L'essor de cette industrie extractive date de 1962 où l'achèvement du grand canal d'Alsace a permis une large exportation vers l'Allemagne et les Pays-Bas. La production est principalement du tout-venant : roulé pour béton et mortier, concassé pour enrobé bitumineux.

L'extension des gravières et leur réaménagement (pêche, voile, baignade) constitue un problème majeur en Alsace pour la protection de l'aquifère alluvial et la sauvegarde de la forêt et des prairies marécageuses rhénanes, biotopes remarquables à l'échelle européenne (flore et faune). Depuis quelques années, les gravières abandonnées par les exploitants ont été réaménagées par des associations, les berges retracées et renaturées, des roselières réimplantées afin de favoriser l'accueil des nombreux oiseaux qui trouvent là un milieu humide propice à la reproduction (Illustration 46). Aujourd'hui, les exploitants doivent s'engager à renaturer leurs gravières au fur et à mesure de l'abandon des secteurs exploités.

Les loëss sont exploités pour la céramique industrielle. Les loëss altérés et argileux sont directement utilisés comme terre à tuile (Bouxwiller). Les loëss riches en silts grossiers servent de dégraissants dans la fabrication de tuiles à partir de matériaux plus argileux (Seltz). La fraction calcaire fine, quand elle est bien répartie, crée une porosité très fine qui peut corriger la tendance au retrait de certaines argiles ; au

contraire les concrétions calcaires doivent être éliminées. L'utilisation ancienne du loess comme terre à briques est aujourd'hui abandonnée au profit des argiles du Lias.

Les argiles de Soufflenheim, précieuses pour leur qualité de réfractaire, servent à fabriquer des briques destinées aux constructions de fourneaux et de poêles.

Le sable du Rhin était exploité pour faire du mortier, pour polir ou nettoyer des pierres mais aussi pour la fabrication du verre dans la banlieue de Haguenau. Aujourd'hui, on emploie le limon sableux du Rhin dans les briqueteries pour empêcher la brique ou la tuile d'adhérer au moule.

L'étude des différents aspects entrant en jeu dans la gestion des gravières en eau en Alsace tels que les aspects législatifs et socio-économiques, les impacts sur l'environnement et réaménagement des gravières, peut avantageusement s'appuyer sur des SIG afin de mieux gérer notre patrimoine pour le futur.



Illustration 46 : Renaturation d'une gravière après exploitation pour rendre à la nature ce qui est à la nature.

7. Conclusions

L'étude cartographique et sédimentologique du Nord de la plaine d'Alsace, de Sélestat à Lauterbourg, a permis de préciser la lithologie et la répartition spatiale des formations superficielles de la plaine rhénane, ainsi que l'influence de la dynamique fluviale sur leurs modes de dépôts et de la pédogenèse sur leur évolution.

En bordure du Rhin, les formations superficielles sont très sableuses et montrent encore les levées caillouteuses des anciens bras du fleuve. Vers l'Ouest on observe les terrasses holocènes légèrement surélevées et recouvertes de limons de débordement plus ou moins épais pouvant être remaniés sous forme de colluvions. Ces formations sont d'origine rhénane et riches en sédiments calcaires pouvant être décarbonatés localement.

Au Sud de Strasbourg et en allant vers l'Ouest, on quitte graduellement le domaine rhénan pour entrer dans celui de l'Ill. Les sédiments déposés dans la dépression où coule l'Ill sont plus argileux et formés d'un mélange d'alluvions caillouteuses décarbonatées et riches en matière organique.

Enfin la zone la plus occidentale de la plaine est formée de terrasses recouvertes de loess calcaire, nettement surélevées dans le paysage. Les zones les plus déprimées de la plaine (Ried de l'Ill, Ried rhénan...) montrent encore dans le paysage les anciennes divagations du Rhin. Elles forment des chenaux assez sinueux comblés par de sables, des limons, de l'argile et des tourbes.

Le livrable de l'étude est une carte numérique multicouche réalisée à l'aide du logiciel SIG MapInfo®. La carte est constituée d'un empilement de trois couches numériques de fichiers géographiques correspondant aux remblais, à la couverture de l'aquifère et à l'aquifère lui-même. Ces couches sont renseignées par divers attributs figurant dans les tables associées et portant sur leur épaisseur et nature lithologique.

Le SIG représente un apport important dans la gestion des données de cartographie géologique : uniformisation de format, unité de stockage, rapidité d'accès, vision d'ensemble des travaux réalisés. Le SIG est essentiel pour la consultation des données, il offre aussi la possibilité de réaliser rapidement des cartes de synthèse pour publications et exposés, contribuant ainsi à une meilleure compréhension des enjeux dans le but d'une aide à la décision. Il permet également d'archiver et de sauvegarder les données y compris les données de terrain et de mettre à jour les cartes régulièrement, facilitant ainsi le suivi des travaux réalisés.

L'aquifère principal de la plaine d'Alsace est maintenant entièrement couvert par la cartographie. Il resterait à cartographier les zones de bordure telles que le Sundgau et la terrasse pliocène de Haguenau-Riedseltz, ainsi qu'à améliorer le raccord des formations avec le piémont des collines sous-vosgiennes.

L'avenir de ce travail de cartographie est une mise à disposition des acteurs de l'environnement et de l'aménagement du territoire de cartes actualisées en continu suivant l'évolution des connaissances, et un couplage avec d'autres banques de données hydrogéologiques, géochimiques, agricoles, de risques naturels... la liste des applications envisageables est longue.

8. Bibliographie

- BAUMGART G. (1996)** - Le Hamster d'Europe (*Cricetus cricetus* L. 1758) en Alsace. 1. Données anciennes et récentes (1546-1995) 2. Hypothèses sur les causes de sa régression. 267 pages+ 868 pages d'Annexes. Rapport établi pour l'Office National de la Chasse (Gerstheim-67).
- BERGERAT F. (1987)** – Paléo-champs de contraintes tertiaires dans la plate-forme européenne au front de l'orogène alpin. Bull. Soc. Géol. France, t.III, N°3, pp. 611-620.
- BLANALT J.G., CLOOTS A.R., GEISSERT F., SITTLER C., SCHWOERER P., THEVENIN A., VALENTIN J. (1971)** - Carte géologique et notice explicative de la feuille Strasbourg n° 272. Ministère de l'industrie et de la recherche, B.R.G.M, Service Géologique National, 39 p.
- BLANALT J.G., ELLER J.P., FLUCK P., GEFFROY J., JEANNETTE D., SCHWOERER P., THEVENIN A., VOGT H. (1972)** - Carte géologique et notice explicative de la feuille Sélestat n° 307. Ministère de l'industrie et de la recherche, B.R.G.M., Service Géologique National, 47 p.
- BOUDOT J.P., GEISSERT F., LEIBER J., MENILLET F., SCHWOERER P. (1987)** - Carte géologique et notice explicative de la feuille Benfeld n° 308. Ministère de l'industrie et de la recherche, B.R.G.M., Service Géologique National, 74 p.
- BRIQUET A. (1930)** - Le Quaternaire de l'Alsace. Bull. Soc. Géol. Als. Lorr., 11, 2, p 3-14.
- BRUNISSEN E. (2003)** - Étude hydro – géomorphologique du Bruch de L'Andlau. Mémoire de Maîtrise de géographie, ULP 105 p.
- BUARD C., TALBOT A., BERNERT V. (1994)** – Recherche de nouvelles ressources dans le secteur du Bois de Lampertheim et de Pfulgriesheim. Rapport BRGM N0500 pour le Syndicat d'adduction d'eau de Strasbourg-Nord (67), 30 p., 12 ann.
- Bulletin de la société industrielle de Mulhouse (1969)** - Le Ried Centre Alsace – N°734, trim.1
- CAMPY M., MACAIRE J.J. (1989)** - Géologie des formations superficielles, géodynamique, faciès, utilisation. Édition Masson, Paris, 433 p.
- CARBIENER R. (1969)** - Le grand Ried d'Alsace, écologie d'un paysage. Bulletin de la Société Industrielle de Mulhouse, n° 1, p 15-44.

Cartes départementales des terres agricoles (1984) - Feuilles Benfeld, Molsheim et Strasbourg 1/50 000, Ministère de l'agriculture, Direction de l'aménagement, D.D.A. du Bas-Rhin.

CHABART M., CRUZ MERMY D., DAESSLE M., ELSASS P., MESSIN M., VIAL A., WESTERMANN S. (2006) – Mouvements de terrain en Alsace. Interventions du BRGM entre 1996 et 2004. Rapport BRGM/RP-53797-FR, 226 p., 77 ill.

CLEMENT F. (1997) - Les formations superficielles de la région de Strasbourg (Bas-Rhin): cartographie et mise en valeur. ULP Institut de géologie, p 60

Géochronique (2005) - La carte géologique. BRGM, SGF, N°096, 52p.

ELSASS P. (2002) - Banque Régionale de l'Aquifère Rhénan 2000-2002. Actualisation et cartographie des formations superficielles. Compte rendu de première tranche. Rapport BRGM-RP-51950-FR

ELSASS P., RAU S. (1995) - Notice des coupes hydrogéologiques Strasbourg-Offenburg. Initiative communautaire INTERREG. Cartographie hydrogéologique du Rhin supérieur. Région Alsace, Strasbourg, avril 1995.

FOMSGAARD I. S., ELSASS P. (2004) - Review of environmental studies and the remedial solutions conducted for protecting and controlling the groundwater related to the landfill in Rohm and Haas chemical facility in Lauterbourg, France. Rapport d'expertise, 43 p.

FREY C. (2006) – Recherche de nouvelles ressources en eau. Réalisation d'un forage de reconnaissance à Oberhausbergen (67). Etude de faisabilité. Rapport ANTEA A 41248/A pour la CUS, 22 p., 1 ann.

GEISSERT F., MENILLET F., FARJANEL G. (1976) - Les alluvions rhénanes plio-quadernaires dans le département du Bas-Rhin. Sci. géol., Bull, 29 ,2, p 121 170.

GEISSERT F., MENILLET F., BOUDOT J.P., THEVENIN A., SCHWOERER P. (1976) - Carte géologique et notice explicative de la feuille Seltz-Wissembourg n°169-199. Ministère de l'industrie, du commerce et de l'artisanat, B.R.G.M., Service Géologique National, 59 p.

GEMIN V., MEURER T., MATHIEU F. (1998) – Recherche de nouvelles ressources en eau potable sur le site de Pfulgiesheim (67). Etude hydrogéologique complémentaire. Rapport ANTEA A 13783 pour le SDEA, 47 p., 13 ann.

JOLY, F. (1997) - Glossaire de géomorphologie. Base de données sémiologiques pour la cartographie, 325 p., Masson, Paris.

MAURIN J.C., NIVIÈRE B. (2000) – Extensional forced folding and décollement of the pre-rift series along the Rhine graben and their influence on the geometry of the syn-rift sequences. In: Cosgrove J.W., Ameen M. S. (eds) - *Forced folds and fractures*. Geological Society, London, Special Publications, 169, 73-86.

MENILLET F. (1995) - Les formations superficielles des Vosges et de l'Alsace. Identification, potentialités, contraintes. Rapport BRGM R 38640, 106 p., 34 fig., 4 tabl., 20 ph.

MENILLET F., LOUGNON J., SCHWOERER P., THEOBALD N., THEVENIN A., VOGT H. (1972) - Carte géologique et notice explicative de la feuille Molsheim n°271. Ministère de l'industrie et de la recherche, B.R.G.M., Service Géologique National, 82 p.

MENILLET F., FELDHOFF R. A., FLECK W. (1999) - Carte Géologique / Geologische Karte Strasbourg / Kehl, 1/25 000, BRGM, France / LGRB, Baden – Württemberg.

PARTY J.P. (2004) - Guide des sols d'Alsace, petite région n°8 Plaine centre - Alsace. Région Alsace, Association pour la Relance Agronomique en Alsace, Agence de l'eau Rhin - Meuse 215 p.

QUESNEL F., LACQUEMENT F., KRAMERS E., GREDER C., ELSASS P. (2002) - Cartographie thématique numérique à 1/25 000 des formations superficielles de la Plaine rhénane sur les zones Centre - Plaine et Sud - Alsace. Rapport BRGM RP-52145-FR, 47 p., 8 fig., 2ann.

RICHERT J. (2004) - Détermination des vitesses de transfert de l'eau, des nitrates et d'autres solutés dans la zone non saturée dans un loess profond. Rapport Chambre d'Agriculture du Bas Rhin, 85p, 77 Ill.

Région Alsace (1995) - Carte piézométrique, basses eaux du 9/10 sept. 1991, feuille Haguenau-Rastatt. Karte der Grundwasserhöhengleichen, Niedrigwassersituation vom 9./10. Sept. 1991, Blatt Haguenau-Rastatt.

Région Alsace (2005) - Inventaire 2003 de la qualité des eaux souterraines dans la vallée du Rhin supérieur – Bestandsaufnahme 2003 der Grundwasserqualität im Oberrheingraben. Premiers résultats transfrontaliers – Erste grenzüberschreitende Ergebnisse. 7 mars 2005, 22 p.

SIMLER L., MILLOT G. (1967) - Le réseau hydrographique alsacien à l'époque pliocène. Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr., 20, 3, p 159-165.

SPEISSER V. (2004) – Etude piézométrique des zones de bordure de la plaine d'Alsace. Mémoire de fin d'études pour l'obtention de la Licence Professionnelle de Protection de l'Environnement Spécialité « Gestion des eaux urbaines et rurales », ULP, ENGEES, BRGM, 27 p.

TALBOT A., BENDLER J. (2004) – Observatoire de la nappe au droit du territoire de la CUS. Ancienne décharge d'Oberschaeffolsheim-Ittenheim (67). Suivi de la qualité des eaux souterraines. Rapport ANTEA A 33895/A pour la CUS, 24 p., 5 ann.

VILLEMIN T., BERGERAT F. (1987) – L'évolution structurale du Fossé rhénan au cours du Cénozoïque : un bilan de la déformation et des effets thermiques de l'extension. Bull. Soc. Géol. France (8) t. III, N°2, pp. 245-255.

VON ELLER J.P. (1994) - Guide géologiques régionaux Vosges-Alsace. 2ème édition révisée, 180 p.

Sites Internet consultés

<http://alsace.nature.free.fr>

[http://brar.brgm.fr/](http://brar.brgm.fr)

<http://cigal.fr/>

<http://comp1.geol.unibas.ch/>

<http://www.ecologie.gouv.fr/>

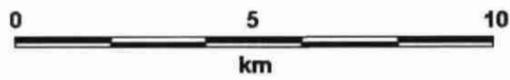
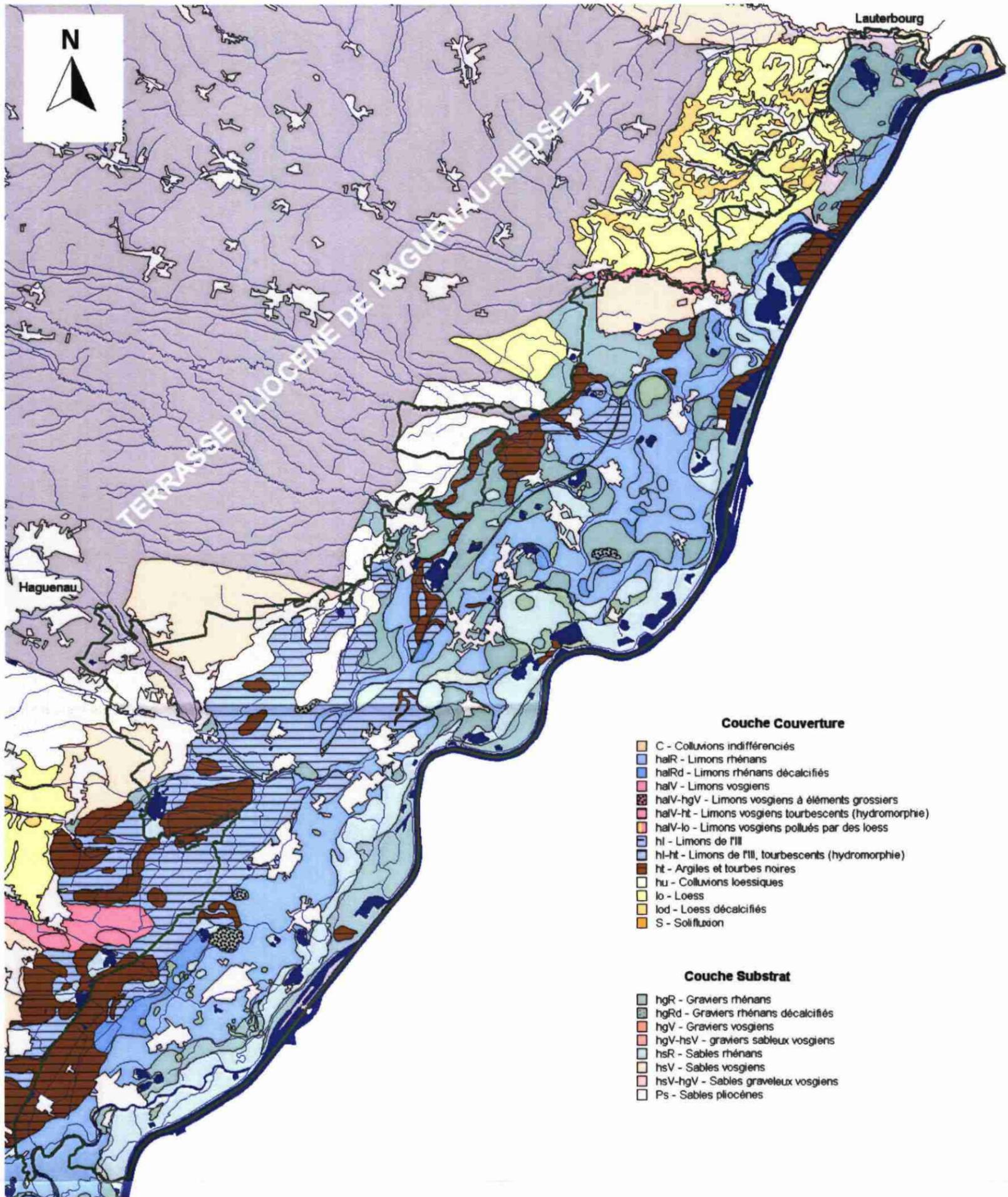
<http://gepma.free.fr/>

<http://mapage.noos.fr/baumgart/>

<http://natura2000.environnement.gouv.fr/>

<http://www.orni.to/observations/sites/andlau.htm>

Annexe 1
Carte des formations superficielles de la petite
région naturelle Ried nord



**Carte des formations superficielles
Ried Nord Alsace**

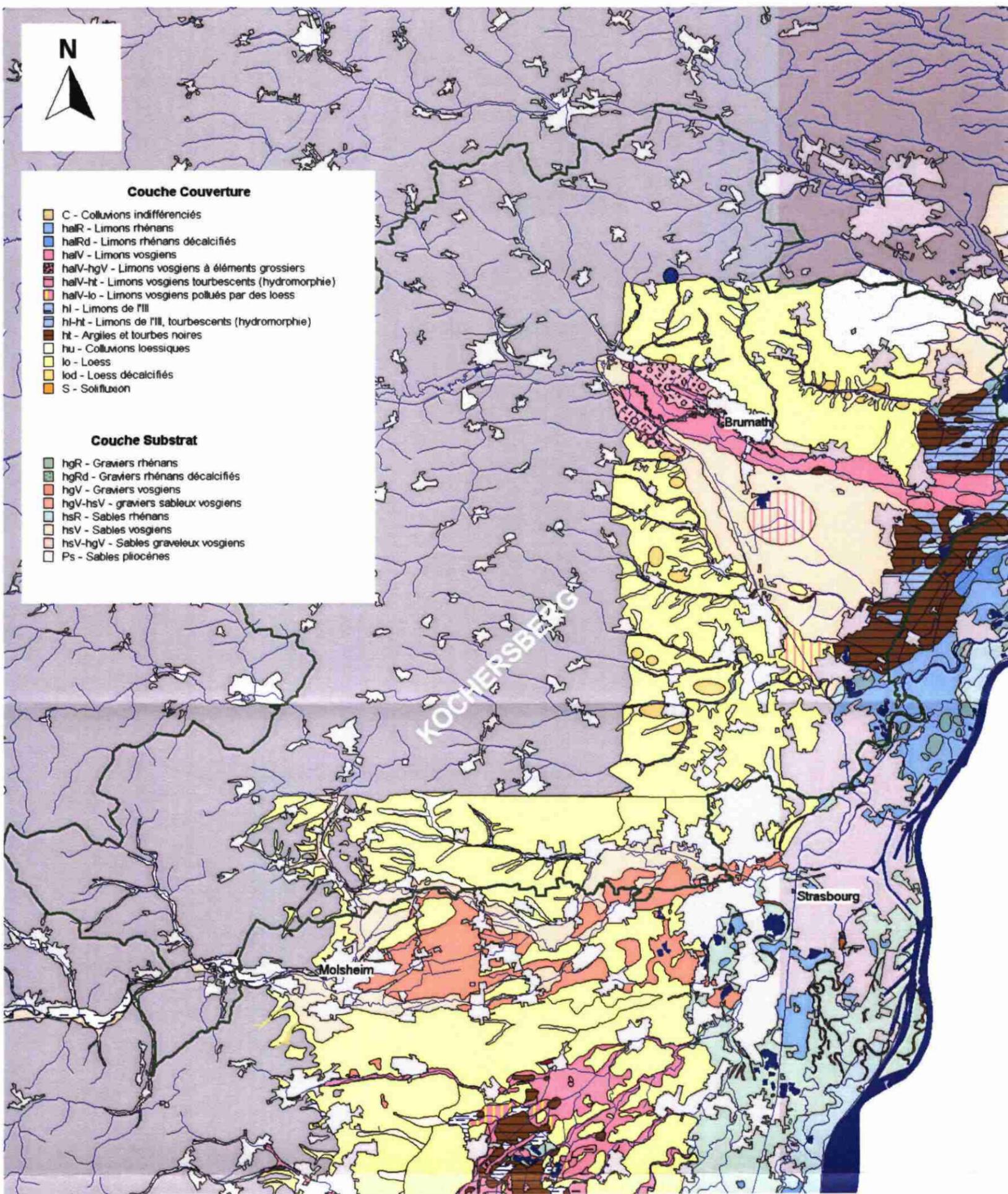
Levés C. Birtler

© Région Alsace, BRGM, 2006
Hydrographie et bâti BDCarto © IGN, 1999





Annexe 2
Carte des formations superficielles de la petite
région naturelle Kochersberg – Collines de
Brumath



- Couche Couverture**
- C - Colluvions indifférenciés
 - halR - Limons rhénans
 - halRd - Limons rhénans décalcifiés
 - halV - Limons vosgiens
 - halV-hgV - Limons vosgiens à éléments grossiers
 - halV-ht - Limons vosgiens tourbescents (hydromorphie)
 - halV-lo - Limons vosgiens pollués par des loess
 - hl - Limons de l'Ille
 - hl-ht - Limons de l'Ille, tourbescents (hydromorphie)
 - ht - Argiles et tourbes noirs
 - hu - Colluvions loessiques
 - lo - Loess
 - lod - Loess décalcifiés
 - S - Solifluxion
- Couche Substrat**
- hgR - Gravier rhénans
 - hgRd - Gravier rhénans décalcifiés
 - hgV - Gravier vosgiens
 - hgV-hsV - Gravier sableux vosgiens
 - hsR - Sables rhénans
 - hsV - Sables vosgiens
 - hsV-hgV - Sables graveleux vosgiens
 - Ps - Sables pliocènes

0 5 10
km



**Carte des formations superficielles
Kochersberg et collines de Brumath**

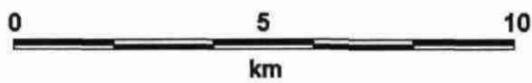
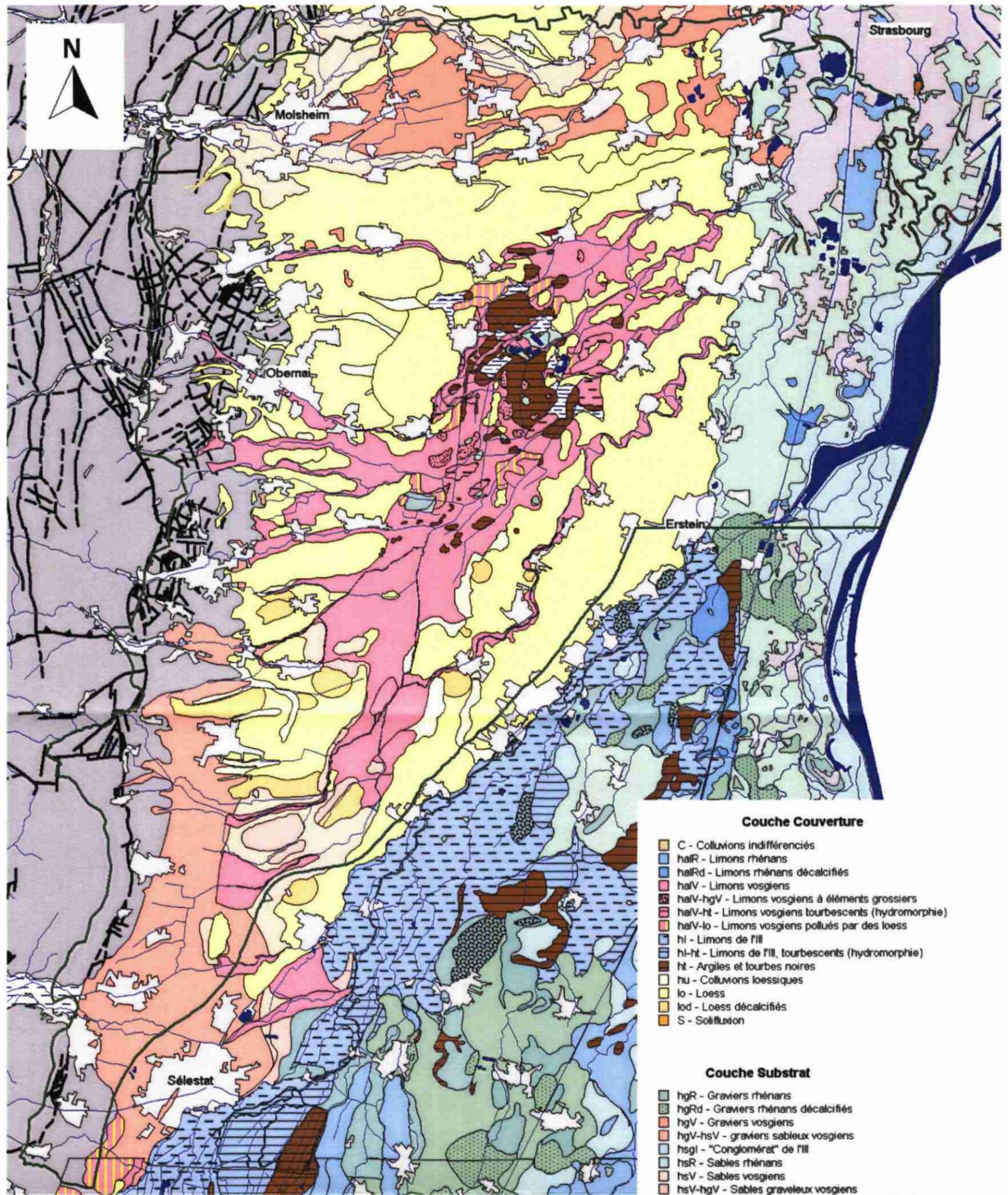
Levés C. Birtler

© Région Alsace, BRGM, 2006
Hydrographie et bâti BDCarto © IGN, 1999





Annexe 3
Carte des formations superficielles de la petite
région naturelle Plaine d'Erstein à Obernai



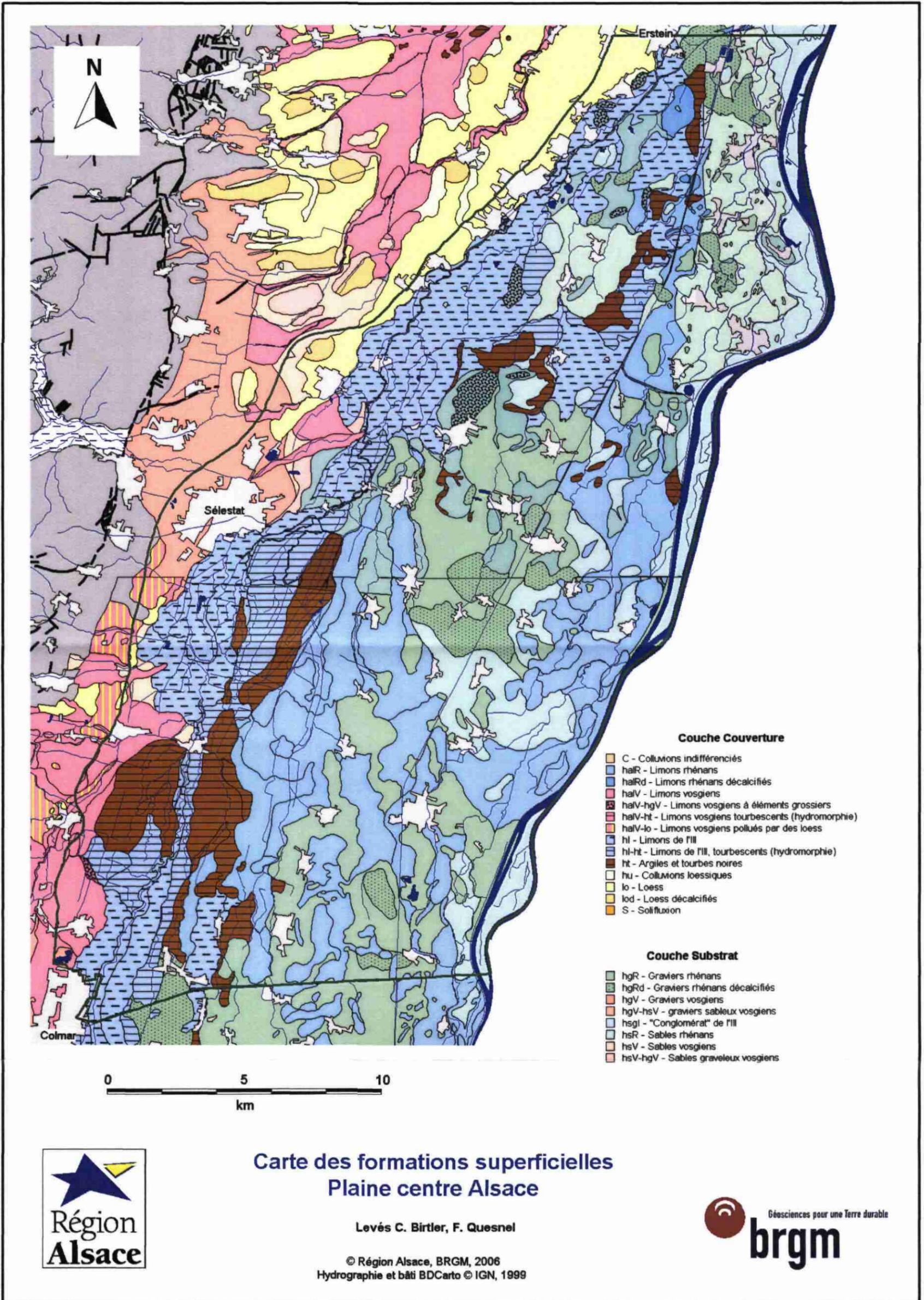
**Carte des formations superficielles
Plaine d'Erstein à Obernai**

Levés C. Birtler

© Région Alsace, BRGM, 2006
Hydrographie et bâti BDCarto © IGN, 1999



Annexe 4
Carte des formations superficielles de la petite
région naturelle Plaine centre Alsace



Banque Régionale de l'Aquifère Rhénan
Programme 2003-2006



**Carte des formations superficielles
Plaine centre Alsace**

Levés C. Birtler, F. Quesnel

© Région Alsace, BRGM, 2006
Hydrographie et bâti BDCarto © IGN, 1999





Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service géologique régional Alsace
15, rue du Tanin - Lingolsheim
BP 177
67834 Tanneries Cedex France
Tél. : 03 88 77 48 90